

Regulating device for adjusting static moment resulting from unbalanced mass vibration generators

Patent Number: DE19920348
Publication date: 2000-01-13
Inventor(s): BALD HUBERT (DE); LUDWIG BRIGITTE (DE)
Applicant(s): GEDIB INGBUERO INNOVATION (DE)
Requested Patent: ☐ DE19920348
Application Number: DE19991020348 19990504
Priority Number(s): DE19991020348 19990504; DE19981020670 19980508
IPC Classification: B06B1/16; E02D7/26; E02D3/074; B28B1/08
EC Classification: B06B1/16B4
Equivalents:

Abstract

The phase angle (β) adjustment between the two types of weight (U1-1, U1-2, U2-1, U2-2) used to form weight pairs creating the unbalanced weight, is carried out between the minimum and maximum settings by applying a torque braking force to at least one first type of weight and/or by applying a torque accelerating force to at least one second type of weight. Relative rotation between the two types of weight is terminated at the maximum angle setting by a mechanical stop force created by two bodies coming into contact with each other, transferring torque from the two types of weight. Two or more pairs of partially unbalanced weights are rotatably driven about a given axis, and their vectorially added partial centrifugal force vectors form a resulting centrifugal force vector that translates the vibration generator mass into oriented vibrations. Each pair of weights is formed by a first type of weight and a second type of weight, between which a phase angle can be defined during weight rotation, the regulating device being used to control this angle. Weight rotation speed and/or phase angle adjustment are controlled using one or more hydraulic or electric motors (M1, M2), with the provision that two hydraulic motors arranged in series one behind the other are used when the phase angle is 90-180 deg or 180-270 deg . Phase angle adjustment is carried out by rotating the first type of weight relative to the second type, the energy required for this relative rotation being provided by the motors. The regulating device is capable of altering phase angle from a minimum setting (e.g. $\beta = 180$ deg) where the vibration amplitude is at a minimum, up to a maximum setting (e.g. $\beta = 0$ deg) where the vibration amplitude reaches a maximum.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

BEST AVAILABLE COPY



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 20 348 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
B 06 B 1/16
E 02 D 7/26
E 02 D 3/074
B 28 B 1/08.

②① Aktenzeichen: 199 20 348.2
②② Anmeldetag: 4. 5. 1999
④③ Offenlegungstag: 13. 1. 2000

Empfangen
05. FEB. 2004
Frist _____
Erledigt _____

DE 199 20 348 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:
198 20 670. 4 08. 05. 1998

⑦① Anmelder:
GEDIB Ingenieurbüro und Innovationsberatung
GmbH, 57319 Bad Berleburg, DE

⑦② Erfinder:
Bald, Hubert, 57319 Bad Berleburg, DE; Ludwig,
Brigitte, 50354 Hürth, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verstelleinrichtung zur Verstellung des resultierenden statischen Momentes von Unwucht-Vibratoren

⑤⑦ Verstelleinrichtung für einen Unwucht-Richtvibrator mit wenigstens zwei Paaren von zum Umlauf um eine zugeordnete Achse antreibbaren Teil-Unwuchtkörpern, deren vektorisch summierte Teil-Fliehkraftvektoren den resultierenden Fliehkraftvektor bilden. Die Verstellung geschieht zwischen einem minimalen resultierenden Unwuchtmoment (Schwingamplitude = minimal) und einem maximalen resultierenden Unwuchtmoment (Schwingamplitude = maximal) ohne Zwischenstellungen, wobei die zugeordneten beiden Grenz-Phasenwinkel unter Benutzung zweier Anschläge eingestellt werden. Die Verstelleinrichtung ermöglicht auch ein Hochlaufen und eine Stillsetzung des Vibrators mit eingestelltem minimalem Unwuchtmoment. Die Verstelleinrichtung bedient sich wahlweise eines oder zweier Antriebsmotoren zur Verstellung des Phasenwinkels. Wegen der Benutzung von Anschlägen zur Einstellung des Phasenwinkels kann auf sonst notwendige aufwendige Steuerungsmittel verzichtet werden und eine kompakte Bauweise ist möglich. Anwendung bevorzugt bei Baumaschinen und Baustoffmaschinen.

DE 199 20 348 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Verstelleinrichtung zur Verstellung des resultierenden statischen Momentes von Unwucht-Vibratoren zur Erzeugung von gerichteten Schwingungen, welches statische Moment erzeugt wird durch wenigstens zwei Paare von gegeneinander um einen Relativ-Stellwinkel β verstellbaren Teil-Unwuchtkörpern. Eine besondere Gattung von Verstelleinrichtungen für Unwucht-Vibratoren zur Erzeugung von gerichteten Schwingungen wird in dem zum allgemeinen Stand der Technik zu rechnenden Dokument EP 0 506 722 B1 beschrieben. Für die anschließende Beschreibung der vorliegenden Erfindung wurden vereinfachend die in der genannten Druckschrift benutzten Begriffe der Teil-Unwuchtkörper und der ihnen zugeordneten Teil-Fliehkräfte (bzw. Teil-Fliehkraft-Vektoren), der Teil-Unwuchtkörper der einen und der anderen Art, sowie des "Paares" von Teil-Unwuchtkörpern übernommen. In Übereinstimmung mit der zitierten Druckschrift wird nachfolgend auch der Relativ-Stellwinkel β (anschließend Phasenwinkel β genannt) derart definiert, daß der Wert $\beta = 180^\circ$ einer Schwingungsamplitude Null und der Wert $\beta = 0^\circ$ einer maximalen Schwingungsamplitude entspricht.

Der Phasenwinkel β ist theoretisch definiert zwischen den Teil-Fliehkraft-Vektoren der einzelnen Teil-Unwuchtkörper der einen und der anderen Art eines "Paares" von Teil-Unwuchtkörpern. Praktisch kann man den Phasenwinkel β auch definieren zwischen Merkmalen (z. B. geometrischen Merkmalen) der Teil-Unwuchtkörper eines Paares, sofern die Lage des Massenschwerpunktes der exzentrischen Masse bekannt ist. Die Kennzeichnung "MR" wird benutzt für die Reaktions-Drehmomente "MR", welche bei einem Phasenwinkel $\beta \neq 180^\circ$ bei jeder Unwucht-Umdrehung um den Rotations-Winkel $\mu = 2\pi$ an den Wellen der Teil-Unwuchtkörper zweimal als Wechselmomente auftreten. [Diese Wechselmomente haben einen sinusförmigen Verlauf mit zwei minimalen und zwei maximalen Werten pro Umdrehung des Teil-Unwuchtkörpers].

Die durchschnittlichen und nur in einer Richtung wirkenden Reaktions-Drehmomente, welche berechnet werden können durch Integration von $MR(\mu)$ über den Drehwinkel $\mu = 2\pi$ und durch anschließende Teilung des Integrationswertes durch 2π , werden hier mit "MRQ" bezeichnet. Wie der Fachmann sich z. B. aus dem Dokument EP 0 506 722 B1 ableiten kann, wirken diese durchschnittlichen Reaktions-Drehmomente MRQ [die nun ihrerseits eine Funktion des Phasenwinkels β darstellen, also: $MRQ(\beta)$] bei einem eingestellten Phasenwinkel $0^\circ < \beta < 180^\circ$ derart an den Teil-Unwuchtkörpern eines Paares, daß die Reaktions-Drehmomente MRQ der einen Art die Drehung der Teil-Unwuchtkörper der einen Art beschleunigen möchten und daß die Reaktions-Drehmomente MRQ der anderen Art die Drehung der Teil-Unwuchtkörper der anderen Art verzögern möchten. Diese Wirkungsweise würde bei einem Unwucht-Vibrator gemäß Fig. 1 der Erfindungsbeschreibung, sofern dieser mit einem Phasenwinkel von z. B. $\beta = 90^\circ$ im Leerlauf arbeiten würde, dazu führen, daß der Motor M2 in einer motorischen Weise und der Motor M1 in einer generatorischen Weise arbeiten müßte, wobei beide Motoren (unter Berücksichtigung der Lagerreibungs-Leistung) einen Teil ihrer Leistung als Scheinleistung umsetzen. Die Arbeitsweise von mit Scheinleistungen arbeitenden Vibrator-Motoren wird auch gut veranschaulicht in Fig. 2 des ebenfalls zum allgemeinen Stand der Technik zu zählenden Dokumentes WO 97/19765 (wobei hier eine andersartige Definition des Phasenwinkels β zu beachten ist, derart, daß hier $\beta = 0^\circ$ gleichgesetzt ist mit einer Schwingungsamplitude = Null). Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß für

die Bezeichnung "statisches Moment" dem Fachmann noch andere Bezeichnungen wie z. B. "Fliehmoment" oder "Unwuchtmoment" bekannt sind.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich ferner speziell auf jene Gattung von bezüglich ihres statischen Momentes verstellbaren und mit hohen Arbeits-Drehfrequenzen arbeitenden Rammvibratoren, welche eingerichtet sind für eine besondere Betriebsart, derart, daß bei ihrem Arbeitseinsatz die Anregung von unterhalb der Arbeits-Drehfrequenz f_0 des Vibrators liegenden Resonanzfrequenzen f_R vermieden werden soll. Bei den für diese Betriebsart in Frage kommenden Richt-Vibratoren können mittels ihrer Steuerungseinrichtungen während der Vibratordrehung (neben der Einstellung von beliebigen resultierenden statischen Momenten) wahlweise zwei besondere resultierende statische Momente eingestellt werden: Einstellung einer "Minimalstellung" mit einem minimalen resultierenden statischen Moment zu Erzeugung einer Schwingungsamplitude gleich Null und Einstellung einer "Maximalstellung" mit einem maximalen resultierenden statischen Moment zur Erzeugung einer maximalen Schwingungsamplitude. Die Arbeitsweise der besonderen Betriebsweise ist folgende: Verstellung des Phasenwinkels im Stillstand des Vibrators auf die Minimalstellung, Hochlauf des Vibrators mit eingestellter Minimalstellung auf die Arbeits-Drehfrequenz f_0 , Verstellung des Phasenwinkels auf die Maximalstellung und Durchführung der Vibrationsarbeit. Verstellung des Phasenwinkels auf die Minimalstellung, Reduzierung der Vibrator-Drehfrequenz von der Arbeits-Drehfrequenz ausgehend auf Null mit eingehaltener Minimalstellung. Die zuletzt geschilderte besondere Betriebsweise soll nachfolgend auch unter der Bezeichnung "Resonanz-Vermeidungs-Betriebsart" zitiert werden.

Für die Durchführung einer wie zuvor beschriebenen Betriebsweise sind zwei Gattungen von verstellbaren Vibratoren bekannt. Die eine Gattung, die z. B. beschrieben ist in der EP 0 473 449 B1 oder in der EP 524 056 B1, arbeitet zwecks Verstellung des Phasenwinkels mit einem mechanischen Überlagerungsgetriebe, durch welches stets eine drehmomentübertragende Verbindung der Teil-Unwuchtkörper der einen Art mit den Teil-Unwuchtkörpern der anderen Art über das Überlagerungsgetriebe gegeben ist. Bei der anderen Gattung der "motorisch verstellbaren Vibratoren" wird die Verstellung des Phasenwinkels ohne ein Überlagerungsgetriebe bewerkstelligt, und zwar unter Einsatz von Verstellmotoren, welche zugleich auch Arbeitsmotoren sein können. Die vorliegende Erfindung ist der letztgenannten Gattung zuzurechnen, da bei ihr die Verstellung des Phasenwinkels auch unter Miteinbeziehung von Antriebsmotoren vorgenommen wird.

Soweit die motorisch verstellbaren Vibratoren dazu vorgesehen sind, mit Hilfe eines geschlossenen Regelkreises und einer Winkel-Meßeinrichtung den Phasenwinkel kontinuierlich auf einen beliebig vorgebbaren Wert zwischen $\beta = 180^\circ$ und $\beta = 0^\circ$ einstellen und halten zu können (wie dies z. B. im Falle der EP/515 305 B1, der EP 0 506 722 B1 und der WO 97/19765 vorgesehen ist) sind sie zwar geeignet zur Durchführung der "Resonanz-Vermeidungs-Betriebsart", sie weisen jedoch den Nachteil auf, daß sie sehr kostenaufwendig sind und daß eine Regelung des Phasenwinkels im Bereich von etwa $-90^\circ < \beta < +90^\circ$ praktisch noch nicht zufriedenstellend möglich ist. Dies hängt zusammen mit dem Verlauf der Funktion des Reaktions-Drehmomentes $MRQ(\beta)$ bzw. des davon abhängigen notwendigen Motordrehmomentes $MD(\beta)$ in Abhängigkeit vom Phasenwinkel β (mit einem positiven Kurvengradienten in einem Winkelbereich etwa $0^\circ < \beta < 90^\circ$ und mit einem negativen Kurvengradienten in dem Winkelbereich etwa $90^\circ < \beta < 180^\circ$), wie z. B. aus Fig. 2 der WO 97/19765 entnommen werden kann.

Hinzu kommt als Nachteil, daß bei Anwendung der kontinuierlichen Regelung des Phasenwinkels β selbst für den Fall, daß man nur mit der Maximalstellung arbeiten will (Punkt E bzw. E' in Fig. 2 der WO 97/19765), beim Durchfahren des ganzen Verstellbereiches des Phasenwinkels β die Motoren mit weit höheren Drehmomenten als für die Maximalstellung nötig, belasten muß.

Betrachtet man zwei weitere mit der DE 44 39 170 A1 und der WO 94/01225 bekanntgewordene Lösungen, bei denen die Verstellung des Phasenwinkels β ebenfalls unter Miteinbeziehung von Antriebsmotoren möglich sein, und bei denen die Einstellung eines Phasenwinkels ohne aufwendige Meß- und Regeleinrichtung möglich sein soll, so kann man generell feststellen, daß die dort vorgesehenen und ohne geschlossenen Regelkreis arbeitenden Verstellrichtungen zur Verstellung des Phasenwinkels β natürlich erst recht nicht zur Einstellung eines Phasenwinkels β im Bereich von etwa $-90^\circ < \beta < +90^\circ$ geeignet sind. Weiterhin mangelt es diesen Lösungen an der Fähigkeit der Durchführung einer "Resonanz-Vermeidungs-Betriebsart". Bei genauerer Betrachtung kann man weiterhin folgendes feststellen:

Bei dem mit der DE 44 39 170 A1 vorgestellten Vibrator handelt es sich um eine ganz spezifische Art der Erzeugung einer gerichteten resultierenden Fliehkraft, und zwar unter Benutzung von wenigstens 3 Paaren von Teil-Unwuchtkörpern mit wenigstens 6 einzelnen Teil-Unwuchtkörpern. Aus dieser Konfiguration ergeben sich für einen bezüglich des Phasenwinkels (wie in der DE 44 39 170 A1 gezeigt) verstellbaren Vibrator eine Reihe von noch unbekannten physikalischen Effekten. Z. B. die Verhaltensweise dieses Vibrators "bezüglich der Frage, ob, und wenn ja, mit welchen Effekten Reaktions-Drehmomente auftreten" (Spalte 4, Zeile 36-38). Wie eine Regelung des Phasenwinkels mit derartigen Effekten, speziell auch im Bereich $-90^\circ < \beta < +90^\circ$ fertig werden könnte, ist in der Beschreibung offengelassen. In den Ausführungen zur Aufgabe der Erfindung (Spalte 4, Zeilen 46+) wird generell ausgesagt, daß der Einsatz der Hydromotoren als Antriebs- und Stellmotoren nur im Zusammenhang mit Regeln geschehen soll, um beliebig vorgegebene Werte für den Relativ-Stellwinkel einstellen zu können (was allerdings die Existenz eines Meßsystems voraussetzt). Für den Fall, daß der Vibrator nur mit einer Regelung unter Benutzung eines geschlossenen Regelkreises zu betreiben wäre, würde ein Vibrator gemäß der DE 44 39 170 A1 in die zuletzt beschriebene Gattung von Vibratoren, welche auch zur Durchführung der "Resonanz-Vermeidungs-Betriebsart" fähig ist, einzuordnen sein.

Wie in den Ausführungen in Spalte 8, Zeilen 49 bis 56 zum Ausdruck kommt, soll jedoch auch eine Steuerung des Phasenwinkels (offener Steuerungskreis) möglich sein. Diese Steuerung müßte dann, worauf auch die zwischen den hintereinander geschalteten Motoren 40 und 42 einmündende Steuerungsleitung 80 hinweist, in der besonderen Weise funktionieren, wie es in der dort zitierten Druckschrift DE 43 01 368 (entsprechend der WO 94/01225) beschrieben ist. Diese besondere Weise beinhaltet unter anderem auch, daß eine Verstellung des Phasenwinkels β nur möglich ist im Bereich $90^\circ < \beta < 180^\circ$ (gemäß der Winkeldefinition der vorliegenden Erfindung).

Ein Anschlag zur Begrenzung des Phasenwinkels β zwecks Einstellung einer nicht zu unterschreitenden Minimalamplitude ist vorgesehen, um im Falle eines Versagens der Motorregelung eine weitere Veränderung des Phasenwinkels mit Zwangsmitteln verhindern zu können. Dies geschieht, weil im Falle einer eingestellten echten Null-Amplitude die Wälzlager aller Unwuchtwellen beschädigt werden würden. Dieser Anschlag dient jedoch nicht der Einhal-

tung des Phasenwinkels β als Minimalstellung im Sinne der "Resonanz-Vermeidungs-Betriebsart" beim Hochlauf des Vibrators vom Stillstand an bis zur Arbeits-Drehfrequenz. Es ist ebenfalls ein Anschlag für die Einstellung der maximalen Amplitude vorgesehen, allerdings nur für den Notfall des Versagens der normalen Regeleinrichtung für den Phasenwinkel β . Zu beachten ist noch, daß in diesem Dokument die Definition des Phasenwinkels β andersartig ist, derart, daß $\beta = 0^\circ$ mit einer Schwingungsamplitude = Null gleichzusetzen wäre.

Die Druckschrift WO 94/01225 kann als der nächstgelegene Stand der Technik angesehen werden: Zu beachten ist, daß bei diesem Dokument der Phasenwinkel β entgegen der Definition der vorliegenden Erfindung derart festgelegt ist, daß $\beta = 0^\circ$ einer Nullamplitude entspricht. Wie z. B. aus Fig. 1 hervorgeht, soll bei dem dort beschriebenen Vibrator jeder Teil-Unwuchtkörper von einem eigenen Motor angetrieben werden, wobei je zwei zu unterschiedlichen Teil-Unwuchtkörpern zugehörige Hydraulikmotoren hintereinander geschaltet sind. Es kommt eine ganz spezielle, nur für eine Hintereinanderschaltung geeignete Ansteuerung der Motoren (mit offenem Steuerungskreis) zwecks Veränderung des Phasenwinkels in Frage. Die mit den Teil-Unwuchtkörpern 101 und 102 verbundenen und miteinander kämmenden Zahnräder sollen in diesem Falle aber nur aus Gründen der Sicherheit in Funktion treten für den Fall, daß die im Prinzip durch die Motoren vorzunehmende Synchronisierung durch anderweitige Störkräfte gestört wird. Ein in Fig. 2 und 3 gezeigter Anschlag 228/213 soll speziell dazu dienen, daß ein Phasenwinkel von $\beta = 90^\circ$ nicht überschritten wird. Diese Begrenzung des Phasenwinkels ist hier deshalb als eine Sicherungsmaßnahme notwendig, weil für diesen Vibrator keine Regelung mit einem geschlossenen Regelkreis vorgesehen ist, und weil der Bereich eines Phasenwinkels β $0^\circ < \beta < 90^\circ$ (gemäß der Winkeldefinition der vorliegenden Erfindung) hier ein nicht beherrschbarer Bereich ist und daher ausgeschlossen ist [Seite 7, Zeilen 1 bis 21; Seite 11, Zeilen 9 bis 21].

Aus diesem Grunde muß bei dieser Konstruktion auch der Nachteil in Kauf genommen werden, daß bereits bei einem Phasenwinkel von $\beta = 90^\circ$ das gewünschte maximale resultierende statische Moment erreicht sein muß, was die Anwendung von größeren Unwuchtmassen voraussetzt und was zu unnötig hohen Lagerkräften führt. Ein weiterer Nachteil des hier gezeigten Vibrators besteht in der extrem unsymmetrischen Belastung der Motoren. Bei einem Anschlag-Phasenwinkel von $\beta = 90^\circ$ werden bei Berücksichtigung des "Summendrucks" die ersten Motoren mehr als zweieinhalbmals soviel wie die zweiten Motoren belastet werden. Dabei ist der "Summendruck" die für die Lebensdauer der Motoren maßgebende Summe von Eingangsdruck und Ausgangsdruck am Motor.

Als weiterer Nachteil erweist sich die Tatsache, daß eine eindeutige Zuordnung zwischen den Stell-Drehmomenten der Stellmotoren und den dadurch eingestellten Relativ-Stellwinkeln β nur dann gegeben ist, wenn der Vibrator bei gleichbleibender Dreh-Frequenz und unter Abgabe einer konstanten Nutzleistung schwingt. Sofern sich der Betrag von einer der letztgenannten Größen in nicht vorbestimmter Weise verändert, wie dies beim Einsatz von Rammvibratoren auftreten kann, wird für die Einstellung oder Einhaltung eines vorbestimmten Relativ-Stellwinkels β der Einsatz einer Regelung notwendig. Das heißt, daß in diesem Falle eine Rückmeldung der Istlage der Drehwinkel der Teil-Unwuchtkörper doch erforderlich ist, um den Relativ-Stellwinkel β auf einen vorbestimmten Wert einzustellen und zu halten (womit dieser Vibrator wieder in die zuletzt beschriebene Gattung einzuordnen wäre, bei welcher jeder vorgebbare

Phasenwinkel β mittels eines geschlossenen Regelkreises einstellbar ist.). Für den Vibrator nach der vorliegenden Erfindung wird jedoch verlangt, daß die vorgesehene Arbeitsweise auch bei veränderten Werten für die Drehfrequenz und für die umgesetzten Nutzarbeiten durchgeführt werden können.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den zitierten Stand der Technik von Vibratoren mit motorischer Winkelverstellung zu verbessern; um bei Vibratoren unterschiedlicher Bauweise eine Verstellung des statischen Momentes zwischen einer Minimalstellung und einer Maximalstellung einfacher und kostengünstiger bewerkstelligen zu können, wobei auch die Durchführung der "Resonanz-Vermeidungs-Betriebsart" möglich sein soll.

Die Lösung der Aufgabe ist definiert durch die unabhängigen Patentansprüche 1 und 7, wobei sich der Patentanspruch 7 mit jener speziellen Ausführungsvariante der Erfindung befaßt, bei welcher an der Verstellung des Phasenwinkels zwei hydraulisch hintereinander geschaltete Hydraulikmotoren beteiligt sind und wobei der Phasenwinkel nur im Bereich $+90^\circ < \beta < +180^\circ$ einstellbar ist. Das diesen beiden Ansprüchen zugrunde liegende gemeinsame Prinzip besteht darin, daß die Verstellung des Phasenwinkels β von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung bewirkt ist durch den Vorgang des Einschaltens eines an den Teil-Unwuchtkörpern wirkenden Verstell-Brems-Drehmomentes und/oder Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes, durch deren Einwirkung die Teil-Unwuchtkörper unterschiedlicher Art in einer ununterbrochenen Verstellbewegung relativ zueinander verdreht werden, bis die Verstellbewegung durch die Kontaktierung zweier Anschlagflächen eine Anschläge zwangsläufig beendet wird und damit die Maximalstellung eingestellt ist. Weitere vorteilhafte Weiterentwicklungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Besondere Vorteile beim Einsatz der Erfindung zeigen sich auch noch bezüglich der folgenden Merkmale: Der Aufwand wird insbesondere durch Verzicht auf einen geschlossenen Regelkreis verkleinert. Es wird eine Verringerung der maximalen Motorenbelastung erreicht, wodurch Motoren mit kleineren Dimensionen verwendet werden können. Das Problem der Regelbarkeit des Phasenwinkels im Bereich $-90^\circ < \beta < +90^\circ$ wird umgangen. Eine automatische Betriebsweise des Vibrators unabhängig von eingestellter Arbeits-Drehfrequenz und abgegebener Nutzleistung kann gewährleistet werden, und zwar ohne Einsatz eines geschlossenen Regelkreises für den Phasenwinkel β . Die Verstellung von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung (und umgekehrt) kann äußerst schnell erfolgen. Bei hydraulisch betriebenen Motoren kann der offene und der geschlossene Kreislauf zur Anwendung kommen. Bei Verwendung von nicht hintereinander geschalteten Hydraulikmotoren kann auf die Bereitstellung einer besonderen Energiequelle für die Durchführung der Winkelverstellung verzichtet werden.

Die Erfindung wird an vier Beispielen von erfindungsgemäßen Vibratoren mit hydraulisch betriebenen Motoren unter Verwendung der Fig. 1 bis 4 näher erläutert, wobei die Fig. 1 bis 3 jeweils zwei Teilzeichnungen enthalten zur Darstellung der unterschiedlichen Schaltzustände der hydraulischen Schaltung vor der Verstellung und nach der Verstellung des resultierenden statischen Momentes von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung. Dabei zeigen:

- Die Fig. 1a und 1b das Schema eines Ausführungsbeispiels mit einer Pumpe und zwei Motoren, wobei beim Betrieb des Vibrators mit unterschiedlichen statischen Momenten unterschiedliche Motoren mit Leistung beaufschlagt werden.

- Die Fig. 2a und 2b das Schema eines Ausführungsbeispiels mit einer Pumpe und zwei Motoren, wobei beim Betrieb des Vibrators mit unterschiedlichen statischen Momenten jeweils beide Motoren mit Leistung beaufschlagt werden.

- Die Fig. 3a und 3b das Schema eines Ausführungsbeispiels mit einer Pumpe und zwei hintereinander geschalteten Motoren, wobei beim Betrieb des Vibrators mit unterschiedlichen statischen Momenten die dem Vibrator zuzuführende Leistung auf beide Motoren verteilt wird.

- Die Fig. 4a und 4b ein Ausführungsbeispiel mit auf einer Unwuchtwellen konzentrisch angeordneten Teil-Unwuchtkörpern erster und zweiter Art. Fig. 4b gibt in verkleinertem Maßstab eine in Fig. 4a mit A-A gekennzeichnete Schnittführung wieder.

Im Folgenden werden einige Anmerkungen gemacht, mit denen das Wesen der Erfindung, soweit die Funktion der Verstellung des Phasenwinkels β betroffen ist, noch besser sichtbar gemacht werden soll:

Die Erfindung repräsentiert das Ergebnis der Überlegung, daß wenigstens für den Einsatz als Rammvibratoren eine im Vergleich zum Stand der Technik einfachere und kostengünstigere Lösung dadurch entsteht, daß man auf die Möglichkeit zur Einstellung beliebig vorgebar Phasenwinkel β verzichtet, und sich beschränkt auf die Möglichkeit zur Einstellung einer Minimalstellung und einer Maximalstellung; womit über 90% der praktischen Aufgabenstellungen erledigt werden können. Allerdings muß die einfachere Lösung zugleich die Durchführung der "Resonanz-Vermeidungs-Betriebsart" ermöglichen, da sich nämlich gezeigt hat, daß der Einsatz verstellbarer Vibratoren überwiegend wegen der letztgenannten Eigenschaft erfolgt.

Die Verstellung des Phasenwinkels β wird vor allem erschwert durch das Phänomen der Reaktions-Drehmomente, welche in unterschiedlicher Weise an den Teil-Unwuchtkörpern unterschiedlicher Art wirksam werden. Das Wirken der durchschnittlichen Reaktions-Drehmomente MRQ bzw. der Verlauf der zur Kompensation der Reaktions-Drehmomente MRQ an den Teil-Unwuchtkörpern in Abhängigkeit von dem Phasenwinkel β aufzubringenden Motordrehmomente ΔMD wird anschaulich verdeutlicht in Fig. 2 der WO97/19765. Die Kurven KA und KB repräsentieren hier die Motordrehmomente ΔMD , welche von den Motoren aufzubringen sind, wenn der jeweilige Phasenwinkel β durch die Einwirkung eines geschlossenen Regelkreises eingestellt und eingehalten ist. Um die Deutung des Diagrammes in Fig. 2 zur Erläuterung der vorliegenden Erfindung für den Spezialfall, daß vier Teil-Unwuchtkörper auf vier eigenen Unwuchtwellen angeordnet sind, zu erleichtern, werden folgenden Annahmen gemacht: In Anpassung an die bei der vorliegenden Erfindung andersartige Definition des Phasenwinkels β sollen in Fig. 2 die Angaben für spezielle Positionen des Phasenwinkels wie folgt geändert angenommen werden: $0^\circ = -180^\circ$; $90^\circ - 90^\circ$; $180^\circ = 0^\circ$; $270^\circ = +90^\circ$; $360^\circ = +180^\circ$. Es wird weiterhin angenommen, daß die Motordrehmomente LXMD nur für den Spezialfall des leerlaufenden Vibrators untersucht werden sollen. In diesem Falle verläuft die Kurve KA durch den Punkt K (anstatt E) und verläuft die Kurve KB durch den Punkt K' (anstatt E'), weil die Strecken E-K und E'-K' die anteiligen Motordrehmomente für die Durchführung der (jetzt entfallenden) Nutzarbeit darstellen. Als Ergebnis dieser gedachten Veränderung verschiebt sich die Position der Punkte M und N, das Maximum der Kurve KA liegt bei 90° und das Minimum der Kurve KB liegt ebenfalls bei 90° . Die Kurve KB zum Beispiel entspricht gemäß der neuen Definition im Bereich 0° bis 180° einer

solchen, die zustande käme durch eine Superponierung der (geraden) Kurve K'-D' und der Kurve B'-H'-A'.

Die Winkelposition einer Minimalstellung eines Vibrators gemäß der vorliegenden Erfindung liegt bei 180° (neue Definition). Für den angenommenen Fall, daß auch bei der vorliegenden Erfindung eine Einstellung beliebig vorgegebener Phasenwinkel β unter Verwendung eines geschlossenen Regelkreises möglich wäre, und daß der Winkelbereich von $\beta = 180^\circ$ (Minimalstellung) langsam und kontinuierlich bis $\beta = 0^\circ$ (Maximalstellung) durchfahren würde, müßten die Motordrehmomente ΔMD bei jeweils $\beta = 90^\circ$ ein Minimum bzw. ein Maximum annehmen. Es ist wichtig, festzustellen, daß ein vorgegebener Phasenwinkel nur dann eingehalten werden kann, wenn die durch beide Kurven gekennzeichneten Motordrehmomente ΔMD an den Motoren eingestellt sind. Wenn abweichend von dieser Bedingung im Winkelbereich $90^\circ < \beta < 180^\circ$ zum Beispiel das Drehmoment des Motors der Kurve KB einen mit Bezug auf einen vorgegebenen Wert des Phasenwinkels β korrekten Wert aufweist, jedoch das (negative) Drehmoment des Motors der Kurve KA einen größeren Wert als den korrekt benötigten aufweist, so stellt sich ein dem realen Drehmoment des Motors der Kurve KB entsprechender Phasenwinkel β ein und das überschüssige (negative) Drehmoment des Motors der Kurve KA wird umgesetzt in eine Verringerung der Drehfrequenz des gesamten Vibrators. Aus diesem Beispiel kann man bereits erkennen, daß die Regelung des Phasenwinkels mit Hilfe eines geschlossenen Regelkreises im Winkelbereich $90^\circ < \beta < 180^\circ$ nicht einfach ist. Problematisch kann sich die Regelung im Winkelbereich $-90^\circ < \beta < +90^\circ$ auswirken, weshalb man in der Praxis Fälle finden kann, bei denen man im Interesse einer sicheren Beherrschung des Phasenwinkels β trotz Anwendung eines geschlossenen Regelkreises sich auf den Winkelbereich $90^\circ < \beta < 180^\circ$ beschränkt.

Man erkennt weiterhin aus Fig. 2 im Diagramm der Kurve KB, daß bei Benutzung eines geschlossenen Regelkreises und beim (langsamen) Durchfahren des Winkelbereichs $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$, bzw. beim Wechsel von der Minimalstellung zur Maximalstellung und bei Einhaltung einer gegebenen Drehfrequenz eine Verstellenergie $E_A = E_0 + E_F$ aufgebracht werden muß. Die anteilige Verstellenergie E_0 entspricht der Fläche unterhalb der Kurve KB abzüglich der Fläche des Rechteckes A'-B'-K'-D', wobei die letztgenannte Fläche die Lagerreibungsenergie E_F repräsentiert. Mit Kenntnis der Formel für die Kurve KB läßt sich der Betrag der anteiligen Verstellenergie E_0 ermitteln zu: $E_0 = M_{R_{\text{el}}} \cdot \omega^2 / 2 \cdot m$ (mit m als schwingende Masse). Dies ist gleichzeitig auch die Formel für die maximale kinetische Energie der schwingenden Masse m bei maximaler Schwingamplitude. Dies kann auch nicht anders sein, weil während der laufenden Verstellung des Phasenwinkels β auch die kinetische Energie der schwingenden Massen laufend zunehmen muß. Aus diesem Sachverhalt kann man ableiten, daß auch bei jeder anderweitig ausgeführten Verstellung des Phasenwinkels von der Minimalstellung auf die Maximalstellung eine Verstellenergie E_A zugeführt werden muß.

Während beim Stand der Technik bei angenommener Anwendung eines geschlossenen Regelkreises die Verstellenergie E_A durch die Wirkung des Regelkreises automatisch in der notwendigen Höhe zugeführt wird (auch bei konstant geregelter Arbeits-Drehfrequenz), geschieht dies bei der vorliegenden Erfindung auf anderem Wege, was anschließend für den Fall erläutert wird, "daß die Verstellung des Phasenwinkels β von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung bewirkt ist durch das Einschalten eines an den Teil-Unwuchtkörpern der einen Art wirkenden Verstell-Brems-Drehmomentes" (Anspruch 1): Es wird angenommen, daß eine Verstelleinrichtung zum Einsatz kommt, wie

sie durch Fig. 2 der vorliegenden Erfindung beschrieben ist. Hier wird der Einfachheit halber angenommen, daß nach Erreichen der Arbeits-Drehfrequenz bei eingestellter Minimalstellung ein Positionswechsel des Ventils V4 solange vorgenommen wird (in Fig. 2b, in welcher jetzt die Verbindung von Punkt 270 nach Punkt 272 nicht existent sein soll), bis die Maximalstellung sicher erreicht ist. Durch diesen Schaltvorgang wird der Motor M1 mit einem zum Druck 420 bar proportionalen Bremsmoment abgebremst. Die Teil-Unwuchtkörper U2-1 und U2-2 laufen jedoch mit einer größeren Drehfrequenz wie die der Teil-Unwuchtkörper U1-1 und U1-2 weiter und beinhalten zusammen mit den mit ihnen synchron rotierenden Teilen eine im Vergleich zu den Teil-Unwuchtkörpern U1-1 und U1-2 überschüssige kinetische Energie. Diese überschüssige kinetische Energie wird zum größten Teil durch die Verstellung des Phasenwinkels von der Minimalstellung zur Maximalstellung, das heißt zur Umsetzung in die Verstellenergie E_A verbraucht.

Definiert man die bis zur Beendigung des Bremsvorganges angesammelte überschüssige kinetische Energie mit ΔE , so muß für eine erfolgreiche Durchführung der Verstellung gelten: $\Delta E > E_A$. Sofern aber der Wert von ΔE kleiner als der Wert von E_A ausfällt (z. B. anstatt 420 bar nur 200 bar), kommt die Verstellung nicht zustande und der Phasenwinkel fällt nach anfänglicher teilweiser Verstellung wieder auf die Minimalstellung zurück. Bei diesem angenommenen Beispiel wird also die gesamte für die Verstellung benötigte Verstellenergie E_A aus der ursprünglichen kinetischen Energie des Systems der mit U2-1 und U2-2 zusammen rotierenden Teile gewonnen. Dies allein würde bereits begründen, daß in diesem Beispiel die Verstellung des Phasenwinkels von der Minimalstellung in die Maximalstellung mit einer Reduzierung der Drehfrequenz des Vibrators verbunden sein muß. Wenn bei dem beschriebenen Beispiel die Verbindung von Punkt 270 nach Punkt 272 vorhanden ist, wird ein Teil der bei der Abbremsung des Motors M1 dem System der mit ihm zusammen rotierenden Teile entnommenen Energie dem Stellvorgang zwecks Umsetzung in die Verstellenergie E_A wieder zugeführt. Aber auch bei dieser Version muß zwecks Einleitung der Verstellung dem System der mit dem Motor M1 rotierenden Teile anfänglich eine bestimmte Energie entzogen werden.

Das beschriebene Beispiel zeigt auch folgenden Sachverhalt: Sofern man von Beginn der Verstellung an bis zu seinem Ende am Ausgang des Motors M1 einen konstanten Bremsdruck erzeugt, welcher auch in einem bestimmten Verhältnis zu der erzeugten überschüssigen kinetischen Energie des Systems der mit dem Motor M2 zusammen rotierenden Teile steht, benötigt man in jedem Falle einen geringeren Druck als er notwendig ist, um bei einer Verstellung mit Verwendung eines geschlossenen Regelkreises den nicht abgebremsten Motor anzutreiben. In dem Diagramm in Fig. 2 der WO 97119765 bedeutet dies, daß der Maximaldruck Δp der Kurve KB nicht erreicht werden muß. Dieser Effekt kann vorteilhaft genutzt werden, um die Motoren kleiner zu dimensionieren.

Für den in der Praxis auftretenden Fall der Abgabe einer Nutzleistung durch den Vibrator ist zu bedenken, daß die Verstellenergie E_A größer sein muß als beim Leerlauf des Vibrators. Dies erfordert für das beschriebene Beispiel gemäß der Erfindung, daß die beim Abbremsen des Motors M1 umgesetzte Energie höher ausfallen muß. Um diesen Umstand zu berücksichtigen, wird die Abbremsenergie durch eine geeignete, empirisch gefundene Kombination von Abbremszeit und Abbremsdruck derart dosiert, daß damit alle in der Praxis auftretenden Aufgaben berücksichtigt sind. Allein diese Forderung macht bereits den Einsatz einer die Maximalstellung definierenden Anschlages notwendig.

Man erkennt auch, daß das bei einer Verstellung des Phasenwinkels β unter Verwendung eines geschlossenen Regelkreises auftretende Problem der Beherrschung des Winkelbereiches $-90^\circ < \beta < +90^\circ$ bei der vorliegenden Erfindung vermieden wird. Dies geschieht dadurch, daß dieser Bereich durchfahren wird, unter der Wirkung des Antriebs der kinetische Energie der Verstellbewegung, welche kinetische Energie bereits vor dem Durchfahren des Winkelbereiches $-90^\circ < \beta < +90^\circ$ in die Teil-Unwuchtkörper der einen und/oder der anderen Art eingebracht wurde. Der in Frage kommende problematische Winkelbereich wird einfach "blind" durchfahren, bis der Anschlag für die Maximalstellung erreicht ist.

Der Maximal-Anschlag hat eine erste Bedeutung darin, daß damit die Maximalstellung definiert wird. Seine zweite Bedeutung liegt darin, daß mit dem Einsatz eines der in Anspruch 3 unter dem Merkmal b) genannten Mittel zur Einhaltung der Maximalstellung die Teil-Unwuchtkörper unterschiedlicher Art eines Paares quasi wie ein einziger Verbund-Unwuchtkörper wirken können. Dies wirkt sich dynamisch günstig aus, insofern, als daß unter diesen Bedingungen beide Verbund-Unwuchtkörper (beide Paare) im schwingenden Zustand (wie bei einem Zwei-Unwuchten-Richtschwinger) zur Selbst-Synchronisierung neigen, was dem Fachmann bekannt ist. Diese Eigenschaft kann bei einer Anordnung der Teil-Unwuchtkörper unterschiedlicher Art auf einer gemeinsamen Drehachse besonders vorteilhaft genutzt werden, derart, daß man auf jegliche zwangssynchronisierende Zahnräder verzichten kann.

Nachfolgend werden zwei in den Ansprüchen verwendete Begriffe noch weitergehend definiert: Der Begriff "Einschalten" (z. B. eines an den Teil-Unwuchtkörpern der einen Art wirkenden Verstell-Brems-Drehmomentes) ist abgeleitet von dem übergeordneten Begriff "Schalten" eines Drehmomentes. Schalten eines Drehmomentes bedeutet in diesem Zusammenhang, daß die Funktion eines Brems- oder Beschleunigungs-Aktuators aktiviert wird, ohne, daß diese Aktivierung abhängig ist vom Ausgangssignal eines geschlossenen Regelkreises zur Regelung des Phasenwinkels β . Ein "Anschlag wird dynamisch hergestellt", wenn die Anschlagflächen durch eine Relativbewegung der Teil-Unwuchtkörper unterschiedlicher Art aufeinander zugeführt werden, so daß die Relativbewegung im wesentlichen durch den Anschlag-Aufprall und nicht durch eine regeltechnische Maßnahme beendet wird.

In Fig. 1a ist mit 100 ein Vibrator gekennzeichnet und mit 150 die hydraulische Schaltung für den Betrieb des Vibrators. Der schematisch dargestellte Vibrator 100 mit zwei Motoren M1 und M2 ist in allen Teilzeichnungen der Fig. 1 bis 3 in identischer Ausführung verwendet und wird daher nur einmal anhand der Fig. 1 beschrieben. In Fig. 1a symbolisiert ein Kreis 102 ein um eine Drehachse 104 drehbares und antreibbares Zahnrad. Durch den ausgefüllten kleinen Kreis 108 ist schematisch der Schwerpunkt eines Teil-Unwuchtkörpers gekennzeichnet und der mit 106 gekennzeichnete Balken symbolisiert den Hebelarm des Schwerpunktes. 106 und 108 zusammen symbolisieren einen um die Drehachse 104 drehbaren Teil-Unwuchtkörper, welcher zugleich einen Teil-Fliehkraft-Vektor und ein Teil-Moment des gesamten resultierenden statischen Momentes M_{Res} repräsentiert. Die durch 102, 106 und 108 gekennzeichneten Merkmale bilden zusammen ein mehrfach verwendetes Symbol, welches insgesamt mit U1-1 gekennzeichnet ist. Demzufolge soll eine Zeichenkombination, beginnend mit dem Buchstaben U, zusammengefaßt immer bedeuten: Einen Teil-Unwuchtkörper mit dem durch die Lage des Balkens (106) bezüglich seiner Richtung zugleich dargestellten Teil-Fliehkraft-Vektor und ein mit dem Teil-Unwuchtkörper stets drehmomentübertra-

gend verbundenes Zahnrad (102). Insgesamt sind mit den Bezugszeichen U1-1, U1-2, U2-1 und U2-2 die vier Teil-Unwuchtkörper eines Richtvibrators dargestellt. Je zwei Teil-Unwuchtkörper, nämlich U1-1 und U1-2 einerseits und U2-1 und U2-2 andererseits, sind über ihre dazugehörigen und miteinander kämmenden Zahnräder zu gegensinnigem Umlauf zwangssynchronisiert. Die derart zusammengefaßten Teil-Unwuchtkörper werden nachfolgend auch bezeichnet mit: Teil-Unwuchtkörper erster Art (U1-1, U1-2) und Teil-Unwuchtkörper zweiter Art (U2-1, U2-2). Sofern die Wirkungsweise der beiden Gruppen von Teil-Unwuchtkörpern ganz allgemein beschrieben werden soll, wird auch von Teil-Unwuchtkörper der einen Art und Teil-Unwuchtkörper der anderen Art gesprochen.

Die Umlaufrichtungen bzw. auch die Drehgeschwindigkeiten der Teil-Unwuchtkörper erster Art und zweiter Art sind jeweils durch die Pfeile ω_1 und ω_2 gekennzeichnet. Die dargestellten Teil-Unwuchtkörper können in unterschiedlichen Bauarten von Vibratoren enthalten sein. Zum Beispiel könnten die Teil-Unwuchtkörper auf vier eigenen und parallel zueinander angeordneten Drehachsen angeordnet sein. Verglichen mit den Figuren in der EP 0 506 722 könnten U1-1 und U1-2 den Teil-Unwuchtkörpern 107 und 108 der Fig. 1 und U2-1 und U2-2 den Teil-Unwuchtkörpern 104 und 105 der Fig. 1 entsprechen und auch die dort beschriebene Wirkungsweise entwickeln. Die Teil-Unwuchtkörper könnten z. B. auch mit konzentrisch zusammenfallenden Drehachsen angeordnet sein, wie dies in der EP 0 473 449 B1 dargestellt ist. Hier könnten U1-1 und U1-2 den Teil-Unwuchtkörpern 51B und 52B der Fig. 6 und U2-1 und U2-2 den Teil-Unwuchtkörpern 51A und 52A der Fig. 6 entsprechen. Bei der Darstellung der Wirkungsweise der Teil-Unwuchtkörper in den Fig. 1 bis 3 wird primär davon ausgegangen, daß die Drehachsen der Teil-Unwuchtkörper U1-1 und U2-1 sowie die Drehachsen der Teil-Unwuchtkörper U1-2 und U2-2 konzentrisch zusammenfallen, vergleichbar mit der Anordnung in Fig. 6 der EP 0 473 449 B1. Es versteht sich, daß die Drehachsen stets in einem (nicht gezeichneten) Gestell, vergleichbar mit dem Vibrator gemäß der Fig. 4, gelagert sind. Die Masse des Gestells macht den größten Teil der schwingenden Masse "m" aus.

Die Teil-Unwuchtkörper U1-1 und U2-1 einerseits und U1-2 und U2-2 andererseits definieren bei unterschiedlich ausgebildeter relativer Drehlage den Phasenwinkel β (z. B. $\beta = 180^\circ$ in Fig. 1a) und werden daher auch als "Paare" von Teil-Unwuchtkörpern unterschiedlicher Art bezeichnet.

Die als von gleicher Art gekennzeichneten und durch Zahnräder zwangsweise synchronisierten Teil-Unwuchtkörper erzeugen vektoriell gesehen immer eine resultierende Fliehkraft in vertikaler Richtung mit gleichbleibender Amplitude. Um eine Veränderung der Amplitude des gesamten Vibrator-Gestelles zu erreichen, können die Teil-Unwuchtkörper unterschiedlicher Art relativ zueinander um einen bestimmten Phasenwinkel β verdreht werden, wodurch sich der den Vibrator bewegende Gesamt-Fliehkraftvektor aus den resultierenden Fliehkraften der unterschiedlichen Arten durch Superponierung derselben ergibt. In Fig. 1a ist ein Phasenwinkel von $\beta = 180^\circ$ eingestellt, was einer Minimalstellung entspricht. Die dem Phasenwinkel $\beta = 180^\circ$ entsprechende Relativlage der Teil-Unwuchtkörper U1-2 und U2-2 wird sichergestellt durch die besondere Anschlag-Kupplung C, welche eine Doppelaufgabe erfüllt. Zum einen gestattet es die Anschlag-Kupplung C, daß die auf einer gemeinsamen Drehachse rotierenden Teil-Unwuchtkörper U1-2 und U2-2 relativ zueinander verdrehbar sind, wobei ihre Relativlage durch zwei Anschläge begrenzt wird derart, daß in einer ersten Anschlagstellung ein Phasenwinkel von $\beta = 180^\circ$ entsteht (gezeigt im Fig. 1a) und daß in einer zweiten An-

schlagstellung ein Phasenwinkel von $\beta = 0^\circ$ bzw. eine Maximalstellung entsteht (gezeigt in Fig. 1b). Die zweite Funktion der Anschlag-Kupplung C besteht darin, daß sie in den Anschlagstellungen Drehmomente übertragen kann von einem Teil-Unwuchtkörper auf den anderen, wobei die Wirkrichtung der Drehmomente abhängig ist von der eingenommenen Anschlagstellung.

Die Anschlag-Kupplung C weist für die Durchführung dieser Aufgaben besondere Elemente auf: Mit dem Teil-Unwuchtkörper U1-2 ist ein drehmomentübertragendes Teil 110 verbunden, an dessen Ende sich ein erster Anschlaghebel 112 befindet. Mit dem Teil-Unwuchtkörper U2-2 ist ein drehmomentübertragendes Teil 118 verbunden, an dessen Ende sich eine Anschlagkurbel 116 befindet. Mit der schematischen Darstellung in Fig. 1a ist gemeint, daß der erste Anschlaghebel 112 mit der Anschlagkurbel 116 derart einen Anschlagkontakt bildet, daß ein Drehmoment von dem ersten Anschlaghebel 112 auf die Anschlagkurbel 116 übertragen wird. Um diesen Sachverhalt für die späteren Erläuterungen besser zu veranschaulichen, ist links neben der Anschlag-Kupplung C eine kleine Teilansicht A1 gezeichnet, welche sich ergibt, wenn man in Richtung des Pfeiles A auf das Ende des Teils 110 schaut. Mit 112' ist der erste Anschlaghebel 112 und mit 116' ist die Anschlagkurbel 116 symbolisiert. Der Pfeil 120 soll zeigen, daß das Drehmoment von 112' auf 116' übertragen wird.

In Fig. 1b ist der gleiche Vibrator wie in Fig. 1a schematisch dargestellt, jedoch mit dem Unterschied, daß die Anschlag-Kupplung C eine andere Stellung eingenommen hat und daß dadurch der Phasenwinkel auf einen Wert $\beta = 0^\circ$ (entsprechend einer Maximalstellung) eingestellt ist. In Fig. 1b ist ein zweiter Anschlaghebel 114 gezeigt, der ebenso wie der erste Anschlaghebel 112 am Ende des drehmomentübertragenden Teils 110 angebracht ist. In Fig. 1b ist gemeint, daß der zweite Anschlaghebel 114 mit der Anschlagkurbel 116 derart einen Anschlagkontakt bildet, daß ein Drehmoment von der Anschlagkurbel 116 auf den zweiten Anschlaghebel 114 übertragen wird. Um diesen Sachverhalt für die späteren Erläuterungen besser zu veranschaulichen, ist links neben der Anschlag-Kupplung C eine kleine Teilansicht A2 gezeichnet, welche sich ergibt, wenn man in Richtung des Pfeiles A auf das Ende des Teils 110 schaut. Mit 114' ist der zweite Anschlaghebel 114 und mit 116' ist die Anschlagkurbel 116 symbolisiert. Der Pfeil 122 soll zeigen, daß das Drehmoment von 116' auf 114' übertragen wird.

Die schematisierte Darstellung der in den Fig. 1 bis 3 benutzten gleichen Vibratoren zeigt (durch das Zeichnen mit unterbrochenen Linien angedeutet) eine Baugruppe 124, welche alternativ zum Einsatz kommen soll, um Anschlagfunktionen zu realisieren, wie sie auch von der Anschlag-Kupplung C übernommen werden können. Die Baugruppe 124 wird anhand der Fig. 1b näher beschrieben: Die Baugruppe 124 ist antriebsmäßig einerseits über das Zahnrad 132 mit den Teil-Unwuchtkörpern zweiter Art U2-1 und U2-2 und andererseits über das Zahnrad 134 mit den Teil-Unwuchtkörpern erster Art U1-1 und U1-2 verbunden. Auf der gleichen Drehachse 130 wie die der Zahnräder ist die ebenfalls mit umlaufende Anschlaggruppe 136 angeordnet. Der Doppelpfeil 138 soll symbolisieren, daß die 1 Anschlaggruppe 136 eine relative Verdrehung der Zahnräder 132 und 134 bis zum Erreichen eines in der Anschlaggruppe enthaltenen doppelten Anschlages erlaubt.

Die Teil-Unwuchtkörper erster Art U1-1 und U1-2 werden von einem Hydraulikmotor M1 angetrieben, der über eine Welle 142 und über ein Zahnrad 140 sein Drehmoment an das Zahnrad des Teil-Unwuchtkörpers U1-2 überträgt. Die Teil-Unwuchtkörper zweiter Art U2-1 und U2-2 werden von einem Hydraulikmotor M2 angetrieben, der über eine

Welle 146 und über ein Zahnrad 144 sein Drehmoment an das Zahnrad des Teil-Unwuchtkörpers U2-2 überträgt. Je nach der Richtung der von den Motoren erzeugten Drehmomente können die Relativlagen der Teil-Unwuchtkörper eines Paares auch während der Rotation der Teil-Unwuchtkörper verändert werden. Bei Benutzung der Anschläge kann dabei durch unterschiedlich einwirkende Drehmomente an den Teil-Unwuchtkörpern der Phasenwinkel β von einer ersten Position, entsprechend einer minimalen Schwingungsamplitude des Vibrators ($\beta = 180^\circ$ in Fig. 1a) in eine zweite Position, entsprechend einer maximalen Schwingungsamplitude des Vibrators ($\beta = 0^\circ$ in Fig. 1b) verstellt werden.

Die Verstellung des Phasenwinkels β von einer ersten Position ($\beta = 180^\circ$ in Fig. 1a) in eine zweite Position ($\beta = 0^\circ$ in Fig. 1b) ist jedoch nicht ohne weiteres möglich. Grund dafür sind die während des Durchfahrens des Verstellwinkels zu überwindenden (durchschnittlichen) Reaktions-Drehmomente MRQ, deren Wirkungsweise z. B. in den Dokumenten WO 97/19765 und WO 94/01225 (in letzterem MR anstatt MRQ genannt) näher erläutert wird. Die bei den erfindungsgemäßen Vibratoren auftretenden Reaktions-Drehmomente MRQ sind mit Hilfe von entsprechenden Pfeilen vorzeichengerecht in den Fig. 1 bis 3 eingezeichnet. Aus Fig. 1a erkennt man z. B., daß bei der Verstellung des Phasenwinkels β von der ersten Position ($\beta = 180^\circ$) in die zweite Position ($\beta = 0^\circ$) an den Teil-Unwuchtkörpern U2-1 und U2-2 ein Reaktions-Drehmoment MRQ-2 auftritt, welches im Augenblick der Entstehung der Verstellung des Phasenwinkels β das Weiterdrehen der Teil-Unwuchtkörper U2-1 und U2-2 in Richtung von ω_2 verhindern möchte und welches sich damit der gewünschten Verstellung entgegensetzt.

Die Verstellung von einer Position in die andere kann aber nicht nur unter Aufbringung von durch Motoren erzeugte Drehmomente erfolgen, sondern kann auch durch die Einwirkung von solchen Massen-Drehmomenten erfolgen, die von dynamischen Massenkraften der polaren Trägheitsmomente der jeweils mit den besagten Teil-Unwuchtkörpern mitumlaufenden Teile erzeugt werden. Wenn z. B. in Fig. 1a, ausgehend von einer mit gleichmäßiger Drehgeschwindigkeit stattfindenden Rotation aller Teil-Unwuchtkörper und ausgehend von einem dabei eingenommenen Phasenwinkel $\beta = 180^\circ$, die Teil-Unwuchtkörper U1-1 und U1-2 plötzlich unter Verminderung ihrer ursprünglichen Drehgeschwindigkeit abgebremst werden, so können die Massen-Drehmomente der mitumlaufenden Teile der Teil-Unwuchtkörper U2-1 und U2-2 eine derartige Größe annehmen, daß diese ausreicht, die der Verstellung entgegenwirkenden Reaktions-Drehmomente MRQ-2 der Teil-Unwuchtkörper U2-1 und U2-2 zu überwinden und damit eine Verstellung der ursprünglichen ersten Position des Phasenwinkels β ($= 180^\circ$) einzuleiten und durchzuführen, und zwar bis hin zum Erreichen der zweiten Position des Phasenwinkels β ($= 0^\circ$). Ein derart möglicher Effekt wird durch die Erfindung auch ausgenutzt. Falls das Bremsmoment an den Teil-Unwuchtkörpern U1-1 und U1-2 zu gering ausfällt, bewirken die Reaktions-Drehmomente MRQ-2 an den Teil-Unwuchtkörpern U2-1 und U2-2 eine Rückdrehung der bereits eingeleiteten Winkelverstellung, so daß die beabsichtigte Verstellung des Phasenwinkels β nicht zustande kommt.

Die Ausnutzung des Effektes der dynamisch erzeugten Massen-Drehmomente geschieht in Fig. 1 im wesentlichen dadurch, daß die Motoren M1 kurzzeitig hydraulisch stark abgebremst werden. Dies kann mit unterschiedlichen Maßnahmen geschehen, von denen 3 unterschiedliche erfindungsgemäße hydraulische Maßnahmen in den Fig. 1 bis 3 näher erläutert werden. In einer weiteren Ausbildung der Erfindung wird der bei dem Abbremsvorgang erzeugbare hohe hydraulische Druck in die Eingangsleitung des Motors M2

geleitet und es wird somit das an den Teil-Unwuchtkörpern U2-1 und U2-2 wirkende dynamische Massen-Drehmoment noch durch ein motorisch erzeugtes Drehmoment unterstützt, um die Winkelverstellung mit einer noch geringeren Abbremsung des Motors M1 zu erreichen.

Bei den in den Fig. 1 bis 3 benutzten hydraulischen Schaltungen soll es sich um geschlossene Kreisläufe handeln, alternativ könnten bei anderer Schaltungsgestaltung aber auch offene Kreisläufe zur Anwendung gelangen. Die Schaltungen erklären sich für den Fachmann von selbst. Daher kann sich die Beschreibung der einzelnen Figuren auf spezielle Wirkungen beschränken. In den Teilfiguren 1a, 2a und 3a ist jeweils jene Schaltung dargestellt, mit welcher alle Teil-Unwuchtkörper vor dem Vorgang der Winkelverstellung auf eine konstante Arbeits-Drehfrequenz gebracht werden konnten. In den Teilfiguren 1b, 2b und 3b ist jeweils jene Schaltung dargestellt, mit welcher der Verstellvorgang begonnen wurde.

In Fig. 1a wurden zunächst alle Teil-Unwuchtkörper vom Stillstand aus beginnend, bei welchem Stillstand alle Teil-Unwuchtkörper mit ihren Schwerpunkten in Richtung der Erdbeschleunigung orientiert waren, und somit einer Maximalstellung entsprachen, allein durch das Antriebsmoment des Motors M1 auf die konstante Arbeits-Drehfrequenz gebracht, wobei die Veränderung der Drehfrequenz des Motors M1 durch eine Verstellung des Fördervolumenstromes der Pumpe P geschah. Dabei kam es bereits kurz nach dem Start zur dynamischen Herstellung eines Anschlages bzw. zur Einnahme der gezeigten Stellung der Anschlag-Kupplung C ($\beta = 180^\circ$, Amplitude = minimal). Die gezeigte Minimalstellung der Anschlag-Kupplung C bleibt auch nach Erreichen der Arbeits-Drehfrequenz erhalten, unter anderem auch, weil der Motor M2 mitgeschleppt werden muß. Fig. 1b zeigt die Situation bei dem Start der Verstellung des Phasenwinkels β . Durch die zugleich vorgenommene Umschaltung der Ventile V1 und V2 wurde am Eingang I des Motors M1 der antreibende Druck abgeschaltet und am Ausgang O des Motors M1 baut sich ein bremsender Druck auf, der durch das Druckbegrenzungsventil PLV eingestellt ist, über welches der Rückstrom vom Motor M1 der Pumpe P wieder zufließen kann. Optional kann vom Leitungspunkt 170 eine Verbindung zum Leitungspunkt 172 hergestellt werden, womit der am Motorausgang O erzeugte hohe Druck auf den Eingang I des Motors M2 geleitet werden kann.

Nach Erreichen der in Fig. 1b gezeigten Anschlagstellung der Anschlag-Kupplung C entsprechend einer Maximalstellung wird das Ventil V2 wieder zurückgeschaltet. Ab diesem Augenblick wird der Motor M1 mitgeschleppt, wodurch bedingt die eingenommene Maximalstellung sicher eingehalten werden kann. Bei der in Fig. 1 gezeigten Schaltung muß demnach der Motor M2 auch die gesamte vom Vibrator abgegebene Nutzleistung mit umsetzen. Die umgekehrte Verstellung des Phasenwinkels β in die Minimalstellung erfolgt durch das Zurückschalten der Ventile V1 und V2, wodurch nun der Motor M2 wieder mitgeschleppt werden muß. Bedingt durch das Schlepp-Drehmoment des Motors M2 und durch den Effekt, daß der Vibrator selbständig bemüht ist, die erreichte Minimalstellung aufrecht zu erhalten, kann bei einer anschließenden langsamen Reduzierung des Fördervolumenstromes der Pumpe P die Minimalstellung bis zum Erreichen des Stillstandes eingehalten werden. Bei einer schnellen Reduzierung des Fördervolumenstromes kann durch Einschaltung eines Drosselelementes in die Rückleitung des Motors M2 (wie in Fig. 2 mit 200 gezeigt) die Einhaltung der Minimalstellung in jedem Falle gesichert werden.

In Fig. 2a wurden zunächst alle Teil-Unwuchtkörper vom Stillstand aus beginnend durch die Antriebsmomente der

Motoren M1 und M2 auf die konstante Arbeits-Drehfrequenz gebracht. Dabei kam es bereits kurz nach dem Start zur Einnahme der gezeigten Stellung der Anschlag-Kupplung C als Minimalstellung ($\beta = 180^\circ$, Amplitude = minimal), weil diese Stellung von den Teil-Unwuchtkörpern in diesem Falle automatisch angestrebt wird. Im Bedarfsfalle kann durch ein zusätzliches, vorübergehend einzuschaltendes Schaltelement 200 dafür gesorgt werden, daß bereits unmittelbar bei dem Start der Rotation der Teil-Unwuchtkörper die gezeigte Stellung der Anschlag-Kupplung C durch Herstellung eines dynamischen Anschlages eingenommen wird. Bei dem Schaltelement 200 soll durch einen Schaltbefehl eine Funktion einschaltbar sein, durch welche bedingt der Druck in der Verbindungsleitung zwischen dem Motor M2 und dem Schaltelement 200 auf einen bestimmten Wert erhöht wird. Um den beim Einsatz einer Drossel entstehenden Energieverlust zu vermeiden, könnte das Schaltelement 200 auch als ein bezüglich seines durchströmbaren Volumenflusses veränderbarer Motor (z. B. Axialkolbenmotor) sein, dessen gewonnene Antriebsleistung dem Antrieb der Pumpe wieder zugeführt werden könnte. Mit Nutzung der Steuerbarkeit eines derartigen verstellbaren Motors könnten auch die Funktionen der Ventile V3 und V4 simuliert werden, so daß diese entfallen könnten.

Fig. 2b zeigt die Situation bei dem Start der Verstellung des Phasenwinkels. Durch die zugleich vorgenommene Umschaltung der Ventile V3 und V4 wurde am Eingang I des Motors M1 der antreibende Druck abgeschaltet und am Ausgang O des Motors M1 baut sich ein bremsender Druck auf, der durch das Druckbegrenzungsventil PLV eingestellt ist, über welches der Rückstrom vom Motor M1 der Pumpe P wieder zufließen kann. Optional kann vom Leitungspunkt 270 eine Verbindung zum Leitungspunkt 272 hergestellt werden, womit der am Ausgang O des Motors M1 erzeugte hohe Druck auf den Eingang I des Motors M2 geleitet werden kann. Nach Erreichen der in Fig. 2b gezeigten Anschlagstellung der Anschlag-Kupplung C als Maximalstellung werden die Ventile V3 und V4 wieder zurückgeschaltet. Zur sicheren Einhaltung der Maximalstellung können Maßnahmen getroffen werden, wie z. B. der Einsatz einer in Fig. 4 gezeigten, mit einer Hilfsenergie geschalteten mechanischen Verriegelung zweier Teil-Unwuchtkörper gegeneinander oder die Ausnutzung des Effektes der Richtungs-Umkehrung der Reaktions-Drehmomente MRQ bei Einstellung einer Maximalstellung mit einem Phasenwinkel $\beta < 0^\circ$ (später "Überverstellung" genannt). Auch nach der Umschaltung des Phasenwinkels β in die in Fig. 2b gezeigte Maximalstellung können beide Motoren M1 und M2 ihre Leistung parallel abgeben. Das Zurückschalten des Phasenwinkels β von der Maximalstellung in die Minimalstellung bei eingestellter Arbeits-Drehfrequenz kann z. B. durch den kurzzeitigen Einsatz des bereits erwähnten Schaltelementes 200 geschehen. Bei der Stillsetzung des Vibrators durch eine Reduzierung des Fördervolumenstromes der Pumpe P von der Arbeits-Drehfrequenz ausgehend, kann die Einhaltung der Minimalstellung dadurch erreicht werden, daß durch die Einschaltung des drosselnd wirkenden Schaltelementes 200 der Motor M2 ein höheres abbremsendes Drehmoment entwickelt als der Motor M1.

Die Verstelleinrichtung gemäß Fig. 3 arbeitet mit zwei hintereinander geschalteten gleich großen Hydromotoren M1 und M2. Die hydraulische Steuerung 300 für die Motoren enthält ein elektrisches Druckregelventil Vpc, welches von einer speziellen Druckquelle S_p gespeist wird, und welches elektrisch auf drei unterschiedliche Ausgangsdrücke p_{Adj-1} bis p_{Adj-3} einstellbar ist. Das Druckregelventil verfügt außerdem über die Eigenschaft, einen an seinem Ausgang anstehenden und von anderer Seite verursachten höheren als

den eingestellten Druck abbauen zu können durch einen rückwärts in das Ventil hinein (und zu einem Leckageabfluß) fließenden Volumenstrom.

Die Verstelleinrichtung kann in mehreren Phasen vom Hochlaufen des Vibrators bis zum Stillsetzen folgende Arbeitsweise ausführen, beginnend mit den Stellungen 0 der beiden Ventile V5 und V6. Bereits beim Vorgang des Verlassens der Ruhestellung des Vibrators wird bei einer Drehfrequenz niedriger als die Arbeits-Drehfrequenz eine Minimalstellung eingestellt und anschließend eingehalten. Im Stillstand des Vibrators sind alle Teil-Unwuchtkörper unter der Einwirkung der Erdbeschleunigung nach unten hängend ausgerichtet. Durch Einschalten des Ventils V5 in Stellung 1 werden bei eingestelltem kleinen Fördervolumen der Pumpe P zunächst die Teil-Unwuchtkörper U1-1 und U1-2 um etwa 180° gedreht, wonach eine Rückschaltung des Ventils V5 in Stellung 0 und gleichzeitig eine Steigerung des Fördervolumens der Pumpe P nach einer vorgegebenen Zeitrampe erfolgt. Beim Hochlauf des Vibrators bis auf die Arbeits-Drehfrequenz wird der Motor M2 mitgeschleppt, ohne daß an ihm ein Druckgefälle als antreibendes Drehmoment wirksam würde. Dies ist bedingt dadurch, daß am Eingang von Motor M2 der Druck absinkt, weil der am Ausgang des Motors M1 austretende Volumenstrom infolge motorinterner Leckage kleiner ist als der am Eingang eintretende. Fig. 3a zeigt die eingestellte Minimalstellung nach Erreichen der Arbeits-Drehfrequenz, welche Minimalstellung vom Vibrator selbsttätig eingehalten wird.

Die Verstellung des Phasenwinkels β von der Minimalstellung auf die Maximalstellung bei eingestellter Arbeits-Drehfrequenz erfolgt durch die am Eingang von Motor M2 vorgenommene Umschaltung eines (im Vergleich zu dem während der Minimalstellung am Eingang von Motor M2 vorhandenen Druckes) erhöhten Verstelldruckes $p_{Adj,1}$ in der Stellung 1 des Ventils V6. Dadurch werden zugleich an den Teil-Unwuchtkörpern der einen Art (U1-1, U1-2) Verstell-Brems-Drehmomente und an den Teil-Unwuchtkörpern der anderen Art Verstell-Beschleunigungs-Drehmomente wirksam. Die dabei erreichte Maximalstellung ist in Fig. 3b dargestellt.

Die Maximalstellung wird gegen den Einfluß von Rückstell-Drehmomenten gesichert unter Anwendung des gleichen Prinzips, welches zur Einstellung der Maximalstellung diente. Dabei wird mit Stellung 1 des Ventils V6 am Eingang von Motor M2 ein anderer spezieller Verstelldruck $p_{Adj,1}$ aufgeschaltet, dessen Höhe ausreichend ist, um eine Rückstellung zu verhindern. Die Höhe des Verstelldruckes $p_{Adj,2}$ ist angepaßt an die Betriebssituation unter Einsatz eines besonderen Steuerungs-Algorithmus zur Erzeugung eines variablen Steuerungssignals für das Druckregelventil V_{PC} .

Die Rückstellung des Phasenwinkels β von der Maximalstellung zur Minimalstellung bei eingestellter Arbeits-Drehfrequenz erfolgt durch kurzzeitige Umschaltung des bereits erwähnten speziellen Verstelldruckes $p_{Adj,2}$ mit V6 in Stellung 2 am Ausgang des Motors M2. Durch diese Maßnahme wird am Motor M2 ein Bremsmoment entwickelt. Alternativ könnte man auch am Eingang des Motors M1 einen dort überhöht wirkenden Druck aufschalten, um den Motor M1 zu beschleunigen. Es genügt im Prinzip für die Rückstellung des Phasenwinkels β von der Maximalstellung zur Minimalstellung, die entsprechend notwendige Relativ-Verdrehung der Teil-Unwuchtkörper nur einzuleiten. Sobald der Phasenwinkel β in den Bereich $0^\circ < \beta < 180^\circ$ verstellt worden ist, wird keine externe Hilfskraft mehr benötigt, weil der Vibrator nun infolge der Wirkung der Reaktions-Drehmomente MRQ eine selbständige Rückstellung auf die Minimalstellung durchführt.

Die Einhaltung der Minimalstellung beim Vorgang der von der Arbeits-Drehfrequenz ausgehenden Stillsetzung des Vibrators geschieht wie folgt: Es erfolgt eine Reduzierung des Volumenflusses der Pumpe P nach vorgegebener Zeitrampe bis zum Wert Null. Gleichzeitig mit der Reduzierung wird mit Stellung 1 des Ventils V6 ein niedriger Druck $p_{Adj,3} \geq p_{Charge}$ auf den Eingang des Motors M2 geschaltet. Durch die Reduzierung des Volumenflusses der Pumpe P wird der Motor M2 abgebremst, während der Motor M1 versucht, vorzulaufen. Die besondere Eigenschaft am Druckregelventil V_{PC} sorgt dafür, daß am Ausgang des Motors 1 ein Druck höher als der eingestellte Druck $p_{Adj,3}$ dadurch abgebaut wird, daß ein Volumenstrom durch das Ventil V6 rückwärts fließt. Dadurch kann sich am Motor M1 kein Bremsdruck aufbauen und das Abbrems-Drehmoment der Teil-Unwuchtkörper U1-1 und U1-2 wird über den Anschlag C gegen den Motor M2 abgestützt.

Auch für den Vibrator gemäß der Fig. 3 mit hintereinander geschalteten Hydraulikmotoren gilt, daß im Vergleich zum Stand der Technik die Motoren wegen ihrer geringeren Belastung kleinere Dimensionen aufweisen können.

Fig. 4 zeigt die Verkörperung eines Richtvibrators mit auf einer Unwuchtwelle 400 konzentrisch angeordneten und relativ zueinander um einen Verstellwinkel $\Delta\theta$ ($= 180^\circ$) verstellbaren Teil-Unwuchtkörpern unterschiedlicher Art. In Fig. 4a ist ein vertikaler Schnitt durch die Drehachse der Unwuchtwelle 400 dargestellt, bei welchem die Teil-Unwuchtkörper 403a und 403b einer in Fig. 4b mit B-B gekennzeichneten Schnittführung folgen, während alle anderen Teile der in Fig. 4b mit C-C markierten Schnittführung entsprechen. Die in Fig. 4a gezeigte Einstellung des Phasenwinkels entspricht einer Maximalstellung, bei der jedoch die mögliche mechanische Verriegelung dieser Position noch nicht eingeschaltet ist. Der Einfachheit halber wurden in Fig. 4 Schrauben zur Verbindungen unterschiedlicher Teile durch Mittelpunktlinien (z. B. 434) ersetzt. Mit der in in Fig. 4 dargestellten Anordnung kann ein Vibrator mit zwei Versionen betrieben werden. In einer Version 1 werden die Unwuchtwellen 400 und 400' unmittelbar von zwei koaxial zu ihnen angeordneten Hydraulikmotoren M4 und M5 angetrieben, wie in Fig. 4b schematisch dargestellt ist. Für diese Version könnten eines oder beide der durch Strich-Punkt-Linien dargestellten Zahnräder 424 und 426 prinzipiell entfallen, da eine Synchronführung nach der Verriegelung der Teil-Unwuchtkörper von selbst eintritt und auch noch gestützt werden kann mit dem Fachmann bekannten anderweitigen Steuerungsmitteln für die Drehwinkel der Motoren. In der später beschriebenen Version 2 erfolgt der Antrieb der Unwuchtwellen entsprechend einem in Fig. 2 gezeigten Schema.

In Fig. 4a ist dargestellt: Eine Unwuchtwelle 400 ist mittels Wälzlager 436 und 436' in einem Gehäuse 402 gelagert. An der rechten Seite ist die Unwuchtwelle mit einer Bohrung 438 mit einer speziellen Innenverzahnung versehen, in welche Bohrung das mit entsprechender Außenverzahnung versehene Wellenende 432 eines Hydraulikmotors M4 eingeführt ist. Der rechts von der Trennlinie 440 liegende und von dem Adapterflansch 442 getragene Motor M4 ist durch eine Mittellinie symbolisiert. Am linken Ende trägt die Unwuchtwelle eine Drehdurchführung 444, welche mit einem Rohr 446 verbunden ist, über welches, von einem (nicht gezeigten) hydraulischen Schaltorgan gesteuert, ein Druckfluid sowohl unter Druck zugeführt, als auch drucklos zurückgeführt werden kann. Ein Teil-Unwuchtkörper der einen Art 401 ist mit Hilfe zweier Paßfedern drehmomentübertragend mit der Unwuchtwelle 400 verbunden, während die beiden Teile 403a bzw. 403b des Teil-Unwuchtkörpers anderer Art unter Beteiligung der Nadellager 404 bzw. 408

relativ zur Unwuchtwelle verdrehbar gelagert sind. Eine Flanschbuchse 410 zur Aufnahme des Zahnrades 426 ist ebenfalls mit Hilfe einer Paßfeder 422 drehfest mit der Unwuchtwelle 400 verbunden. Teil 403a, welches an seiner linken Seite ein zweites Zahnrad 424 trägt, ist mit Teil 403b mittels eines Anschlagbolzens 427 verbunden, welcher sowohl zur Übertragung eines Drehmomentes zwischen beiden Teilen dient, als auch als Anschlagorgan zur Bildung zweier Anschläge zur Begrenzung der Relativ-Verdrehung der Teil-Unwuchtkörper unterschiedlicher Art.

Die beiden Anschläge werden gebildet bei Kontaktierung des Anschlagbolzens 427 mit einer der beiden Anschlagflächen 428 und 430 (Fig. 4b), welche Anschlagflächen am Teil-Unwuchtkörper der einen Art 401 verkörpert sind. Wie aus Fig. 4b entnommen werden kann, wird die in Fig. 4 gezeigte Maximalstellung bzw. der dazu gehörige Phasenwinkel $\beta = 0^\circ$ definiert durch den einen Anschlag, bei welchem der Anschlagbolzen 427 in Kontakt mit der Anschlagfläche 428 ist. Von diesem Anschlag ausgehend, wird nach einer Relativ-Verdrehung der beiden Teil-Unwuchtkörper 401 und 403 um den Winkel $\Delta\beta$ der andere Anschlag gebildet, bei welchem der Anschlagbolzen 427 (in dieser Stellung mit 427' bezeichnet) in Kontakt mit der Anschlagfläche 430 ist und bei welchem Anschlag die Minimalstellung bei einem Phasenwinkel von $\beta = 180^\circ$ eingestellt ist.

Die Teil-Unwuchtkörper 401 und 403 können sowohl in der Minimalstellung als auch in der Maximalstellung mit einer schaltbaren mechanischen Verriegelung in ihrer Relativlage fixiert werden unter Beteiligung der in ihren Aufnahmebohrungen axial verschiebbaren drei Teile: Treibbolzens 450, Riegelbolzen 452 und Büchse 454. Die Verriegelung wird veranlaßt durch das Herausfahren des auf seiner linken Seite im Zylinder 466 mit dem Druckfluid beaufschlagbaren Treibbolzens 450, welcher dabei die beiden anderen Teile nach rechts verschiebt, solange, bis die Büchse 454 auf den Grund ihrer Bohrung aufsetzt. Bei der Verschiebung aller drei Teile übernehmen die Teile 450 und 452 durch ihr Eindringen in die Bohrung des jeweils benachbarten Teiles eine Verriegelungsfunktion. Die Aufhebung der Verriegelung erfolgt dadurch, daß das Druckfluid auf der linken Seite des Treibbolzens 450 drucklos geschaltet wird, wodurch es der Feder 456 ermöglicht wird, alle drei Teile wieder in die gezeichnete Ausgangslage zu verschieben. Die beschriebene Verriegelungsfunktion kann auch erfolgen, wenn der Teil-Unwuchtkörper 401 relativ zu dem Teil-Unwuchtkörper 403 aus der gezeichneten Maximalstellung heraus um den Verstellwinkel $\Delta\beta$ (z. B. 180°) in die Minimalstellung verstellt wird. Nach einer derartigen Verstellung gelangt der Riegelbolzen 458 an die Stelle des Riegelbolzens 452, und umgekehrt.

Aus Fig. 4b kann entnommen werden: Die zweite Unwuchtwelle 400' ist mit den von ihr getragenen Teilen baugleich zur Unwuchtwelle 400 aufgebaut, jedoch spiegelsymmetrisch zur Symmetrieachse 460, und mit einem Achsabstand derart, daß die jeweils beiden Zahnräder miteinander kämmen. Die Mittellinie 432 symbolisiert die koaxiale Verbindung der Unwuchtwelle 400 mit dem Motor M4 und die Mittellinie 432' die koaxiale Verbindung der Unwuchtwelle 400' mit dem Motor M5. Das Schema der hydraulischen Schaltung 462 zeigt, daß die (gleichgroßen) Motoren M4 und M5 parallel an eine im geschlossenen Kreislauf betriebene Pumpe P angeschlossen sind. Die Pumpe P ist bezüglich des von ihr geförderten Volumenstromes variabel einstellbar. Zwecks Variation der Vibrator-Drehfrequenz kann sie kontinuierlich verstellt werden. Die Verstellung des Volumenstromes kann jedoch auch sprunghaft geschehen, um damit an den Motoren Drehmoment-Sprünge erzeugen zu können, welche in Form von Verstell-Brems-Drehmo-

menten oder Verstell-Beschleunigungs-Drehmomenten zur Verstellung des Phasenwinkels β dienen.

Der zwischen Minimalstellung und Maximalstellung liegende Verstellwinkel $\Delta\beta$ muß nicht zwangsläufig 180° betragen. Ausgehend von einer Minimalstellung $\beta = 180^\circ$ kann bei Verwendung eines Verstellwinkels $\Delta\beta > 180^\circ$ mit einer "Übervstellung" eine Maximalstellung bei einem Phasenwinkel $\beta < 0^\circ$ erreicht werden, bei welchem sich auf Grund der dann umgekehrten Wirkrichtungen der Reaktions-Drehmomente MRQ eine selbsttätige Einhaltung der Maximalstellung ergibt. Bei Benutzung eines Verstellwinkels $\Delta\beta < 180^\circ$ wird eine Maximalstellung bei einem Phasenwinkel $\beta > 0^\circ$ erreicht. Bei Verzicht auf eine künstliche Fixierung dieser Maximalstellung erfolgt, bedingt durch die Wirkung der Reaktions-Drehmomente MRQ, in diesem Falle eine automatische Rückstellung des Vibrators in die Minimalstellung. Wie durch die mit Strichlinien 480 und 480' gezeichneten Organe in Fig. 4b angedeutet ist, könnten die Anschläge auch mit Dämpfungsfunktionen ausgestattet sein. Die Organe 480 bzw. 480' könnten z. B. Kolben von hydraulischen Dämpfern sein, welche in den Teil-Unwuchtkörpern 401 bzw. 401' in einer Ebene senkrecht zu deren Drehachsen angeordnet sind.

Die Betriebsweise eines Vibrators nach der Version 1 ist folgende: Im Stillstand des Vibrators hängen alle Teil-Unwuchtkörper nach unten und bilden bei ausgeschalteter Verriegelung automatisch eine Maximalstellung. Bei dem durch eine Verstellung des Volumenstromes der Pumpe P nach einer Zeitrampe von Null an erfolgenden gleichzeitigen Start der Motoren ist nach etwa einer halben Umdrehung (in Richtung der Pfeile $\omega 1$) der Teil-Unwuchtkörper 401, 401' (nur diese werden zunächst gedreht) die Minimalstellung erreicht (Anschlagbolzen 427 an Anschlagfläche 430), welche Minimalstellung infolge des sich entwickelnden Beschleunigungs-Verstell-Drehmomentes und bei höherer Drehzahl infolge des Bestrebens der Selbsteinstellung auf eine Minimalstellung auch noch nach Erreichen der Arbeitsdrehfrequenz eingehalten wird. Nach Erreichen der Arbeitsdrehfrequenz wird durch einen Schaltvorgang an der Pumpe der Pumpen-Volumenstrom kurzzeitig abgesenkt, wodurch an den Teil-Unwuchtkörpern 401 kurzzeitig ein Verstell-Brems-Drehmoment entwickelt wird. Durch sein polares Massenträgheitsmoment bedingt, überholen nun die Teil-Unwuchtkörper 403, 403' die Teil-Unwuchtkörper 401, 401' in Richtung des Pfeiles 464 und es kommt zum Anschlag (427 + 428) mit Einnahme der Maximalstellung. Da bereits während des Vorganges der Winkelverstellung der Treibbolzen 450 an seiner linken Seite mit einem unter Druck stehenden Druckfluid belastet worden war, kommt es sogleich nach Einnahme der Maximalstellung zur Verriegelung der Teil-Unwuchtkörper gegeneinander.

Die Rückstellung von der Maximalstellung zur Minimalstellung wird freigegeben durch Druckentlastung des Druckes im Zylinderraum 466. Da eine Maximalstellung bei einem Phasenwinkel von $\beta > 0^\circ$ angenommen wird, kommt es nach der Entriegelung infolge der Wirkung der Reaktions-Drehmomente MRQ sofort zur selbständigen Rückstellung des Phasenwinkels in die Minimalstellung. Die Rückstellung des Phasenwinkels in die Minimalstellung kann alternativ durch eine kurzzeitige Vergrößerung des Volumenstromes der Pumpe P bewirkt werden, wodurch eine Beschleunigung der Teil-Unwuchtkörper 401, 401' erfolgt, oder kann alternativ bei Verwendung wenigstens der beiden Zahnräder 426 und 426' auch dadurch eingeleitet werden, daß kurzzeitig ein Drosselorgan 470 in der Zuleitung zum Motor M4 eingeschaltet wird. Dies verursacht am Motor M4 ein kurzzeitig wirkendes Verstell-Beschleunigungs-Drehmoment, wodurch eine Voreilung der Teil-Unwuchtkörper

401, 401' relativ zu den Teil-Unwuchtkörpern 403, 403' eintritt. Beim Vorgang der Stillsetzung des Vibrators aus der Minimalstellung heraus wird zunächst die Verriegelung eingeschaltet. Sodann kommt es bei eingehaltener Verriegelung zur Abbremsung der Motoren durch Reduzierung des Pumpen-Volumenstromes bis auf den Wert Null. Nach erfolgter Stillsetzung kann die Verriegelung aufgehoben werden. Alternativ könnte ein schnelles Stillsetzen des Vibrators mit gleichzeitiger Umstellung von der Maximalstellung in die Minimalstellung, von der Arbeits-Drehfrequenz ausgehend (z. B. beim Ausfall des Antriebsmotors für die Pumpe) auch dadurch unterstützt werden, daß an den Teil-Unwuchtkörpern 403 ein Verstell-Brems-Drehmoment erzeugt wird, und zwar mittels eines (nicht dargestellten) schaltbaren Bremsorganes, welches unmittelbar auf eines der Zahnräder 424, 424' einwirkt. Bei Benutzung wenigstens der Zahnräder 426 und 426' kann die Version 1 auch mit nur einem einzigen Motor betrieben werden.

Der Vibrator könnte in einer Version 2 z. B. gemäß der in Fig. 2 gezeigten Anordnung betrieben werden. Dabei muß man sich vorstellen, daß die in Fig. 2 gezeigten Zahnräder 280 bzw. 282, den Zahnrädern 426 bzw. 424 der Fig. 4 entsprechen und daß die Motoren M1 und M2 in Fig. 2 mit ihren Zahnrädern 290 bzw. 292 mit den Zahnrädern 426 bzw. 424 in Fig. 4 in Eingriff gebracht werden. In diesem Falle gäbe es folgende Entsprechungen (die Bezugsziffer nach "2" benennt immer das Merkmal in Fig. 2): 401 = U1-2; 403 = U2-2; 427 = 216; 428 = 214; 430 = 212; 432 = 242, 432' = 244. Fig. 4a zeigt dabei eine Maximalstellung entsprechend Fig. 2b.

Die Einhaltung des Phasenwinkels in der Maximalstellung ($\beta = 0^\circ$) kann bei allen erfindungsgemäßen Schaltungen auch sicher gegen Stör-Drehmomente dadurch erfolgen, daß bei der Verstellung des Phasenwinkels β in die Maximalstellung der Phasenwinkel $\beta = 0^\circ$ unterschritten wird, was in der Regel auch soviel bedeutet, als daß der Verstellbereich auf einen Wert größer als $\Delta\beta = 180^\circ$ eingestellt sein muß. Bei einer derartigen "Überverstellung" wird zwar die eingestellte Amplitude wieder ein wenig kleiner als die theoretisch maximal mögliche Amplitude, jedoch haben sich nach Unterschreitung der Winkelposition $\beta = 0^\circ$ die Größenverhältnisse der dann wirksamen Reaktions-Drehmomente MRQ vertauscht. Wie man z. B. aus Fig. 2 der WO 97/19765 (unter Berücksichtigung der dort andersartig vorgenommenen Definition des Phasenwinkels β) entnehmen kann, steigt die Kurve KA, vom Punkt M aus positiv ansteigend, zwischen dem Punkt E und D noch weiter an, während die Kurve KB in dem Bereich E-F weiter abfällt. Da die Kurven ΔMD das jeweils an den Motoren benötigte Nutz-Drehmoment beschreiben, folgt daraus für die vorliegende Erfindung, daß der gemäß der Kurve KA betriebene Motor M1 (bzw. M4) auf dem Wege von Punkt M nach Punkt D nach Überschreiten des Punktes E ein höheres Motordrehmoment ΔMD verlangt als Motor M2 (bzw. M5). Da aber z. B. gemäß Fig. 2 der vorliegenden Erfindung beide Motoren M1 und M2 nur ein identisches Drehmoment abgeben können, führt dies dazu, daß bei einer "Überverstellung" den Teil-Unwuchtkörpern U1-1 und U1-2 über die Anschlag-Kupplung C ein Drehmoment zugeführt werden muß, was zu der gewünschten Sicherung der Anschlagstellung führt. Als eine weitere alternative Maßnahme zur Sicherung der Maximalstellung könnte auch vorgesehen werden, die Anschlag-Kupplung C oder die Baugruppe 124 mit einer Hilfsbetätigung derart zu beeinflussen, daß die eingenommene Verstellposition mechanisch gesichert wird, etwa unter Benutzung der Funktion einer Zahnkupplung.

Anstelle der beschriebenen hydraulischen Abbremsungen könnte man an den Teil-Unwuchtkörpern einer Art auch

eine mechanische Abbremsung vornehmen, z. B. durch eine Scheibenbremse. Als äquivalente Lösung könnte man anstelle einer kurzzeitigen Abbremsung der einen Art von Teil-Unwuchtkörpern auch eine abrupte Beschleunigung der einen Art von Teil-Unwuchtkörpern vornehmen, wobei an der anderen Art der Teil-Unwuchtkörper ein dynamisches Massen-Drehmoment entwickelt würde, welches die an der anderen Art der Teil-Unwuchtkörper die Verstellung verhindernden Reaktions-Drehmomente MRQ kompensieren könnte. Auch auf diese Weise könnte eine Verstellung des Phasenwinkels β von einer Minimalstellung in eine Maximalstellung vorgenommen werden. Die Rotationsrichtung der Teil-Unwuchtkörper eines Paares kann, z. B. für den Fall des Einsatzes der Baugruppe 124, zur Bildung eines Anschlages, sowohl gleichsinnig wie auch gegensinnig sein. Da mit der Verstellvorrichtung gemäß der Erfindung eine sehr schnelle Verstellung von der Minimalstellung in die Maximalstellung (und umgekehrt) möglich ist, bietet es sich auch an, den Vibrator intermittierend zu betreiben, mit eingeschalteten Verweilzeiten in der Minimalstellung. Da in der Minimalstellung der Leistungsverbrauch relativ gering ist, ergibt sich durchschnittlich gesehen ein geringerer Leistungsverbrauch für den Vibrator im Arbeitsbetrieb. Dies ermöglicht den Anschluß des Vibrators an Pumpen-Antriebsmotoren von niedrigerer Leistung.

Als Anwendungsgebiet für die Erfindung kommen nicht nur Rammvibratoren in Frage, sondern auch andere Arbeitsmaschinen wie z. B. Erdverdichtungsmaschinen oder Rüttler für Betonsteinmaschinen.

Patentansprüche

1. Verstellvorrichtung für einen Unwucht-Richtvibrator mit den folgenden Merkmalen:

- a) es sind wenigstens zwei Paare von zum Umlauf um eine zugeordnete Achse antreibbaren Teil-Unwuchtkörpern (U1-1/U2-1, 401/403; U1-2/U2-2, 401'/403') vorgesehen, deren vektoriell summierte Teil-Fliehkraftvektoren den resultierenden Fliehkraftvektor bilden, durch dessen Wirkung die Masse des Vibrators in gerichtete Schwingungen versetzt ist,
- b) jeweils ein Paar ist gebildet durch einen Teil-Unwuchtkörper der ersten Art (U1-1/U2-1, 401/403) und einen Teil-Unwuchtkörper der zweiten Art (U2-1/U2-2, 403/403'), wobei zwischen den zugehörigen Teil-Fliehkraftvektoren der Teil-Unwuchtkörper eines Paares während der Drehung der Teil-Unwuchtkörper ein Phasenwinkel β definierbar ist, der durch die Verstellvorrichtung verstellbar ist,
- c) Der Antrieb zur Rotation der Teil-Unwuchtkörper und/oder zur Verstellung des Phasenwinkels β ist bewirkt durch den Einsatz von einem oder von mehreren elektrisch oder hydraulisch betriebenen Motoren, mit Ausnahme jener Anordnung, bei welcher für die Verstellung des Phasenwinkels β im Bereich $\beta = 180^\circ$ ($\beta = 180^\circ$ entsprechend einer Null-Amplitude) bis $\beta = 90^\circ$ oder im Bereich $\beta = 180^\circ$ bis $\beta = 270^\circ$ zwei hydraulisch hintereinandergeschaltete Hydraulikmotoren vorgesehen sind,
- d) die Verstellung des Phasenwinkels β ist durch eine Relativ-Verdrehung der Teil-Unwuchtkörper der ersten Art relativ zu den Teil-Unwuchtkörpern der zweiten Art bewirkt, wobei die für die Verstellung benötigte Verstellenergie von einem oder von mehreren elektrisch oder hydraulisch betriebenen

Motoren abgeleitet ist, welche Motoren mit Teil-Unwuchtkörpern drehmomentübertragend verbunden sind,

e) Die Verstelleinrichtung ist vorgesehen auch zur Durchführung einer Verstellung des Phasenwinkels β von einer Minimalstellung mit einer Position $\beta(A)$ des Phasenwinkels [bei z. B. $\beta(A) = 180^\circ$], bei der die Schwingungsamplituden ein Minimum aufweisen, auf eine Maximalstellung mit einer Position $\beta(E)$ des Phasenwinkels [bei z. B. $\beta(E) = 0^\circ$], bei der die Schwingungsamplituden ein Maximum aufweisen, gekennzeichnet dadurch,

- daß die Verstellung des Phasenwinkels β von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung bewirkt ist

- durch das Einschalten eines an wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der einen Art wirkenden Verstell-Brems-Drehmomentes,
- oder durch das Einschalten eines an wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der anderen Art wirkenden Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes,
- oder durch das Einschalten sowohl des Verstell-Brems-Drehmomentes als auch des Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes,

- und daß die Relativ-Verdrehung bei erreichter Maximalstellung zwangsläufig beendet ist durch einen mechanisch wirkenden Anschlag (114 + 116; 427 + 428), wobei der Anschlag gebildet ist durch zwei sich kontaktierende Organe, von denen das eine (114; 428) drehmomentübertragend verbunden ist mit wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der einen Art (U1-2; 401) und das andere (116; 427) drehmomentübertragend verbunden ist mit wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der anderen Art (U2-2; 403).

2. Verstelleinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- daß die zum Zwecke der Beteiligung an der Relativ-Verdrehung in Richtung der Maximalstellung erzeugte Abbrems-Energie eines oder mehrerer beteiligter Abbrems-Organen (M1 in Fig. 1 oder M4) dosiert ist durch eine Kombination der Einstellungen für die Größe des Verstell-Brems-Drehmomentes und für die Bremsdauer, wobei die Größe des Verstell-Brems-Drehmomentes und/oder die Bremsdauer konstant oder abhängig ist vom Betrag des zurückgelegten Verstellwinkels ($\Delta\beta$ in Fig. 4),

- und/oder daß die zum Zwecke der Beteiligung an der Relativ-Verdrehung in Richtung der Maximalstellung erzeugte Beschleunigungs-Energie eines oder mehrerer beteiligter Motoren (M2 in Fig. 1) dosiert ist durch eine Kombination der Einstellungen für die Größe des Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes und für die Beschleunigungsdauer, wobei die Größe des Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes und/oder der Beschleunigungsdauer konstant oder abhängig ist vom Betrag des zurückgelegten Verstellwinkels ($\Delta\beta$ in Fig. 4).

3. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstelleinrichtung vorgesehen ist zur Durchführung wenigstens einer der folgenden beiden Funktionen:

a) Die Relativ-Verdrehung in Richtung der Maximalstellung ist unter Beteiligung der Abbremsung

(durch M1 in Fig. 2) einer oder mehrerer Teil-Unwuchtkörper einer Art und/oder unter Beteiligung der Beschleunigung (durch M2 in Fig. 3) einer oder mehrerer Teil-Unwuchtkörper der anderen Art nur derart durchführbar, daß die Relativ-Verdrehung mit dem Verlassen der Minimalstellung begonnen ist und daß die Relativ-Verdrehung durch das Erreichen des Maximal-Anschlages (214 + 216; 314 + 316) beendet ist,

b) die Maximalstellung ist nach Beendigung der Relativ-Verdrehung gegen den Einfluß von Rückstell-Drehmomenten (MRQ-2 in Fig. 1) eingehalten durch den Einsatz wenigstens eines der folgenden Mittel:

- Durch Einwirkung von Reaktions-Drehmomenten (MRQ-1; MRQ-2 in Fig. 1), durch welche nach Überschreiten des Phasenwinkels $\beta = 0^\circ$ in Richtung negativer Phasenwinkel der Maximal-Anschlag (114 + 116; 427 + 428) in Richtung negativer Phasenwinkel belastet ist,

- durch Einwirkung eines von einem Motor (M2 in Fig. 2) abgeleiteten Drehmomentes, durch welches das Anschlagorgan der einen Art (214) des Maximal-Anschlages in Richtung negativer Phasenwinkel belastet ist, welcher Motor mit wenigstens einem Teil-Unwuchtkörper einer anderen Art (U2-2) drehmomentübertragend verbunden ist,

- durch Einwirkung einer mechanisch wirkenden Verriegelung (450 + 452 + 454), mit der die Teil-Unwuchtkörper der einen und anderen Art in der Position $\beta(E)$ des Phasenwinkels relativ zueinander fixiert sind.

4. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstelleinrichtung vorgesehen ist zur zusätzlichen Durchführung wenigstens einer der folgenden beiden Funktionen:

a) Eine Minimalstellung mit einer Position $\beta(A)$ des Phasenwinkels ist eingestellt oder eingehalten bereits während des Verlassens der Ruhestellung des Vibrators bei einer Drehfrequenz niedriger als die Arbeits-Drehfrequenz durch den Einsatz wenigstens eines der folgenden Mittel:

- Durch eine mit Hilfsenergie schaltbare Verriegelung (450 + 452 + 454) der Relativstellung der Teil-Unwuchtkörper der einen und der anderen Art,

- durch einen dynamisch hergestellten Minimal-Anschlag, bei welchem Minimal-Anschlag zwei Anschlagorgane (112, 116) dadurch zum gegenseitigen Kontakt mit Kontaktkraft-Übertragung von einem Organ zum anderen gebracht sind, daß zumindestens beim Vorgang des Anlaufes aus dem Stillstand das dem Antrieb (M1 in Fig. 1) der Teil-Unwuchtkörper der einen Art dienende Drehmoment größer ist als das dem Antrieb (M2 in Fig. 1) der Teil-Unwuchtkörper der anderen Art dienende Drehmoment,

- durch eine besondere elektrische oder hydraulische Schaltung (300, 462) zur Beeinflussung der Drehbewegungen der mit Teil-Unwuchtkörpern der einen Art und/oder der anderen Art verbundenen Motoren beim Start der Vibratordrehung beim Verlassen der Stillstands-Situation, wobei durch die besondere elektrische oder hydraulische Schaltung

eine zeitlich begrenzte unterschiedliche Drehmomentenentwicklung an den Motoren bewirkt ist,

– oder durch Ausnutzung des Effektes, daß der Vibrator von selbst bestrebt ist, die Minimalstellung einzuhalten,

b) eine Minimalstellung ist eingehalten beim Vorgang der von der Arbeits-Drehfrequenz ausgehenden Stillsetzung des Vibrators durch den Einsatz von wenigstens einem der folgenden Mittel:

– Durch Abbremsung aller Motoren (M1 + M2 in Fig. 2) mit einem gleichgroßen Motordrehmoment wenigstens zu Beginn der Abbremsung,

– durch Einsatz einer mit Hilfsenergie schaltbaren Verriegelung (450 + 452 + 454) der Relativstellung der Teil-Unwuchtkörper der einen und der anderen Art in der Minimalstellung,

– durch Einhaltung der Kontaktierung der Anschlagflächen eines Minimal-Anschlags (212 + 216) dadurch, daß beim Vorgang des Stillsetzens des Vibrators das abbremsende Drehmoment des Motors (M2 in Fig. 2) der anderen Art größer ist als das abbremsende Drehmoment des Motors (M1 in Fig. 2) der einen Art,

– durch Nutzung des Effektes, daß der Vibrator von selbst bestrebt ist, die Minimalstellung einzuhalten.

5. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein (M4) oder mehrere (M1 + M2 in Fig. 2) Motoren vorgesehen sind sowohl zur Übertragung von Antriebsleistung auf den Vibrator als auch zur Erzeugung eines Verstell-Brems-Drehmomentes oder eines Verstell-Beschleunigungs-Momentes, welches Verstell-Brems-Drehmoment wirksam sein kann

– an der einen Art von Teil-Unwuchtkörpern zum Zwecke der Verstellung des Phasenwinkels von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung (M1 in Fig. 2),

– oder an der anderen Art von Teil-Unwuchtkörpern zum Zwecke der Verstellung des Phasenwinkels von einer Maximalstellung auf eine Minimalstellung (M2 in Fig. 2), und wobei den Motoren wahlweise eine der folgenden Funktionen zugeordnet ist:

– Der oder die Motoren (M4 oder M4 + M5 in Fig. 4) sind nur verbunden mit der einen Art von Teil-Unwuchtkörpern (401 oder 401' + 401'),

– die Motoren (M4 + M5 in Fig. 4) sind nur verbunden mit der einen Art von Teil-Unwuchtkörpern und jedem Paar von Teil-Unwuchtkörpern (401/403; 401'/403') ist ein eigener Motor (M4; M5 in Fig. 4) zugeordnet,

– Wenigstens ein Motor der einen Art (M1 in Fig. 2) ist verbunden mit einem Teil-Unwuchtkörper der einen Art (U1-2) und wenigstens ein Motor der anderen Art (M2 in Fig. 2) ist verbunden mit einem Teil-Unwuchtkörper der anderen Art (U2-2).

6. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Maximal-Stellung auch einen Phasenwinkel im Bereich zwischen $\beta(E)$ gleich $+90^\circ$ und $\beta(E)$ größer oder gleich 0° oder im Bereich negativer Werte zwischen $\beta(E)$ kleiner oder

gleich 0° und $\beta(E)$ gleich -90° umfaßt.

7. Verstelleinrichtung für einen Unwucht-Richtvibrator nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, in welchem Oberbegriff das Merkmal c) durch das nachfolgende Merkmal f) ersetzt ist:

f) Der Antrieb zur Rotation der Teil-Unwuchtkörper und/oder zur Verstellung des Phasenwinkels β ist bewirkt durch den Einsatz von einem oder von mehreren elektrisch oder hydraulisch betriebenen Motoren, bei welchem Antrieb für die Verstellung des Phasenwinkels β im Bereich $\beta = 180^\circ$ ($\beta = 180^\circ$ entsprechend einer Null-Amplitude) bis $\beta = 90^\circ$ oder im Bereich $\beta = 180^\circ$ bis $\beta = 270^\circ$ wenigstens zwei hydraulisch hintereinander geschaltete Hydraulikmotoren vorgesehen sind, gekennzeichnet dadurch

– daß die Verstellung des Phasenwinkels β von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung bewirkt ist

– durch das Einschalten eines an wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der einen Art wirkenden Verstell-Brems-Drehmomentes durch die Aufschaltung eines erhöhten Verstelldruckes am Ausgang des zugeordneten Hydraulikmotors (M1 in Fig. 3),

– oder durch das Einschalten eines an wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der anderen Art wirkenden Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes durch die Aufschaltung eines erhöhten Verstelldruckes am Eingang des zugeordneten Hydraulikmotors (M2 in Fig. 3),

– oder durch das Einschalten sowohl des Verstell-Brems-Drehmomentes als auch des Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes durch die Aufschaltung eines erhöhten Verstelldruckes sowohl am Ausgang des einen als auch am Eingang des anderen zugeordneten Hydraulikmotors (M1, M2 in Fig. 3),

– daß die Relativ-Verdrehung bei erreichter Maximalstellung zwangsläufig beendet ist durch einen mechanisch wirkenden Anschlag (314 + 316; 427 + 428), wobei der Anschlag gebildet ist durch zwei sich kontaktierende Organe, von denen das eine (314; 428) drehmomentübertragend verbunden ist mit wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der einen Art (U1-2; 401) und das andere (316; 427) drehmomentübertragend verbunden ist mit wenigstens einem der Teil-Unwuchtkörper der anderen Art (U2-2; 403),

– und daß die Verstelleinrichtung vorgesehen ist zur zusätzlichen Durchführung wenigstens einer der folgenden beiden Funktionen:

a) Eine Minimalstellung mit einer Position $\beta(A)$ des Phasenwinkels ist eingestellt oder eingehalten bereits während des Verlassens der Ruhestellung des Vibrators bei einer Drehfrequenz niedriger als die Arbeits-Drehfrequenz durch den Einsatz wenigstens eines der folgenden Mittel:

– Durch eine mit Hilfsenergie schaltbare Verriegelung (450 + 452 + 454) der Relativstellung der Teil-Unwuchtkörper der einen und der anderen Art,

– durch einen dynamisch hergestellten Minimal-Anschlag, bei welchem Minimal-Anschlag zwei Anschlagorgane (312, 316) dadurch zum gegenseitigen Kontakt mit Kontaktkraft-Übertragung von einem Organ zum

anderen gebracht sind, daß zumindestens beim Vorgang des Anlaufes aus dem Stillstand das dem Antrieb (M1 in Fig. 3) der Teil-Unwuchtkörper der einen Art dienende Drehmoment größer ist als das dem Antrieb (M2 in Fig. 3) der Teil-Unwuchtkörper der anderen Art dienende Drehmoment,
 - durch eine besondere hydraulische Schaltung (300, 462) zur Beeinflussung der Drehbewegungen der mit Teil-Unwuchtkörpern der einen Art und/oder der anderen Art verbundenen Motoren (M1, M2 in Fig. 3) beim Start der Vibratordrehung beim Verlassen der Stillstands-Situation, wobei durch die besondere hydraulische Schaltung eine zeitlich begrenzte unterschiedliche Drehmomentenentwicklung an den Motoren bewirkt ist,
 - oder durch Ausnutzung des Effektes, daß der Vibrator von selbst bestrebt ist, die Minimalstellung einzuhalten.

b) Eine Minimalstellung ist eingehalten beim Vorgang der von der Arbeits-Drehfrequenz ausgehenden Stillsetzung des Vibrators durch den Einsatz von wenigstens einem der folgenden Mittel:

- Durch Abbremsung aller Motoren (M1 + M2 in Fig. 2) mit einem gleichgroßen Motor-drehmoment wenigstens zu Beginn der Abbremsung,
- durch Einsatz einer mit Hilfsenergie schaltbaren Verriegelung (450 + 452 + 454) der Relativstellung der Teil-Unwuchtkörper der einen und der anderen Art in der Minimalstellung,
- durch Einhaltung der Kontaktierung der Anschlagflächen eines Minimal-Anschlages (312 + 316) dadurch, daß beim Vorgang des Stillsetzens des Vibrators das abbremsende Drehmoment des Motors (M2 in Fig. 3) der anderen Art größer ist als das abbremsende Drehmoment des Motors (M1 in Fig. 3) der einen Art,
- durch Aufschaltung eines Verstelldruckes, wirksam am Ausgang eines der Hydraulikmotoren (M2 in Fig. 2 oder 3) und/oder am Eingang des anderen Hydraulikmotors (M1 in Fig. 2 oder 3),
- durch Nutzung des Effektes, daß der Vibrator von selbst bestrebt ist, die Minimalstellung einzuhalten.

8. Verstelleinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstelleinrichtung vorgesehen ist zur Durchführung wenigstens einer der folgenden beiden Funktionen:

- a) Die Relativ-Verdrehung in Richtung der Maximalstellung ist unter Beteiligung der Abbremsung (durch M1 in Fig. 3) einer oder mehrerer Teil-Unwuchtkörper einer Art und/oder unter Beteiligung der Beschleunigung (durch M2 in Fig. 3) einer oder mehrerer Teil-Unwuchtkörper der anderen Art nur derart durchführbar, daß die Relativ-Verdrehung mit dem Verlassen der Minimalstellung begonnen ist und daß die Relativ-Verdrehung durch das Erreichen des Maximal-Anschlages (314 + 316) beendet ist,
- b) die Maximal-Stellung ist nach Beendigung der Relativ-Verdrehung gegen den Einfluß von Rückstell-Drehmomenten (MRQ-2 in Fig. 3) eingehalten durch den Einsatz wenigstens eines der fol-

genden Mittel:

- Durch Einwirkung von Reaktions-Drehmomenten (MRQ-1; MRQ-2 in Fig. 3), durch welche nach Überschreiten des Phasenwinkels $\beta = 0^\circ$ in Richtung negativer Phasenwinkel der Maximal-Anschlag (314 + 316; 427 + 428) in Richtung negativer Phasenwinkel belastet ist,
- durch Einwirkung eines von einem Motor (M2 in Fig. 3) abgeleiteten Drehmomentes, durch welches das Anschlagorgan der einen Art (314) des Maximal-Anschlages in Richtung negativer Phasenwinkel belastet ist, welcher Motor mit wenigstens einem Teil-Unwuchtkörper einer anderen Art (U2-2) drehmomentübertragend verbunden ist,
- durch Einwirkung einer mechanisch wirkenden Verriegelung (450 + 452 + 454), mit der die Teil-Unwuchtkörper der einen und anderen Art in der Position $\beta(E)$ des Phasenwinkels relativ zueinander fixiert sind.

9. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstellung des Phasenwinkels β auf eine Minimalstellung beim Start des Vibrators oder von einer Minimalstellung auf eine Maximalstellung bei eingestellter Arbeits-Drehfrequenz durch das Einschalten eines Verstell-Brems-Drehmomentes und/oder eines Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes unter Einsatz eines oder mehrerer hydraulischer Motoren (M1, M2 in Fig. 2) bewirkt ist dadurch, daß ein Verstell-Brems-Drehmoment durch das Einschalten oder Steuern der Veränderung des Strömungsquerschnitts eines vom Volumenstrom wenigstens eines Motors (M2 in Fig. 2) durchströmten Organes (200) erzeugt ist, wobei die Wirkung der eingeschalteten oder gesteuerten Veränderung des Strömungsquerschnitts nicht bestimmt ist zur Einstellung eines vorgebbaren und ohne Beanspruchung eines Anschlages einnehmbaren Phasenwinkels β , und wobei das durchströmte Organ (200) ausgebildet ist als eine Drossel oder als ein zusätzlich vorhandener Motor, welcher veränderbar ist bezüglich des ihn durchströmenden Volumenstromes.

10. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Einschalten eines Verstell-Brems-Drehmomentes oder das Einschalten eines Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes derart ausgeführt ist, daß die Größe des Verstell-Brems-Drehmomentes oder des Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes von einer Anfangsgröße auf eine Endgröße geändert ist als vorgebbare Funktion einer Zeit oder einer anderen Variablen.

11. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Teil-Unwuchtkörper einer Art (U1-2, 401) und der Teil-Unwuchtkörper anderer Art (U2-2, 403') eines jeden Paares mit konzentrisch zusammenfallenden Drehachsen, vorzugsweise auf einer gemeinsamen Welle (400), gelagert sind.

12. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß Teil-Unwuchtkörper der einen Art (U1-1/U1-2; 401/401') und/oder der anderen Art (U2-1/U2-2; 403/403'), welche Teil-Unwuchtkörper zu unterschiedlichen Paaren gehören, durch den Einsatz von Getriebemitteln, bevorzugt durch den Einsatz von Zahnrädern (426, 426'), zwangssynchronisiert sind.

13. Verstelleinrichtung nach Anspruch 12, dadurch ge-

kennzeichnet, daß eine umlaufende Anschlageinrichtung (100) mit folgenden Merkmalen vorgesehen ist:

- Die Anschlageinrichtung (100) ist in ihrer Gesamtheit um eine Achse (130) drehbar gelagert und ist mit zwei um die Achse drehbaren Zahnrädern (132, 134) ausgestattet.
 - Über das eine Zahnrad (134) ist eine drehmomentübertragende Verbindung mit den Teil-Unwuchtkörpern der einen Art (U1-1) und über das andere Zahnrad (132) ist eine drehmomentübertragende Verbindung mit den Teil-Unwuchtkörpern der anderen Art (U2-1) hergestellt.
 - Die Anschlageinrichtung beinhaltet wenigstens zwei relativ zueinander verdrehbare Anschlagorgane, von denen das eine mit dem einen Zahnrad und das andere mit dem anderen Zahnrad verbunden ist, wobei durch die Verdrehbarkeit (138) der Anschlagorgane wenigstens zwei Drehwinkel-Anschlagstellungen herstellbar sind.
 - Mit der einen Drehwinkel-Anschlagstellung ist eine Minimalstellung (Fig. 1a) einstellbar und mit der anderen Drehwinkel-Anschlagstellung, deren Anschlag-Drehwinkel auch variabel ausführbar ist, ist eine Maximalstellung (Fig. 1b) einstellbar.
14. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstelleinrichtung eingerichtet ist zur Herstellung unterschiedlicher statischer Momente durch den Einsatz wenigstens einer der nachfolgenden Merkmalskombinationen:

- Der Vibrator ist ausgestattet mit einem ersten und einem zweiten Doppel-Paar von Teil-Unwuchtkörpern, wobei beide Paare eines jeden Doppel-Paares (401/403 + 401/403') zum gegenseitig synchronen Umlauf (ω_1 in Fig. 4b) antreibbar sind, und wobei die Minimalstellung (427' + 430) und die Maximalstellung (427 + 428) für jedes Doppel-Paar getrennt und unterschiedlich einstellbar ist. Zwei unterschiedliche statische Momente sind einstellbar dadurch, daß in dem einen Falle das eine Doppel-Paar auf eine Maximalstellung eingestellt ist, während gleichzeitig das andere Doppel-Paar auf eine Minimalstellung eingestellt ist und daß in dem anderen Falle beide Doppel-Paare auf eine Maximalstellung eingestellt sind.
 - Der Vibrator ist ausgestattet mit einer mittels einer Hilfsenergie schaltbaren mechanischen Verriegelung (450, 452, 454) der Relativstellung der Teil-Unwuchtkörper der einen und der anderen Art für die Fixierung in unterschiedlichen Maximalstellungen. Der Einsatz der mechanischen Verriegelung (450, 452, 454) ist bei Einnahme wenigstens einer der Maximalstellungen realisiert unter Verzicht auf die Funktion eines Maximal-Anschlags (427 + 428). Unterschiedliche Maximalstellungen sind durch Manipulierung der Schaltzeiten für die Ein- und/oder Ausschaltung der Hilfsenergie ausgewählt.
 - Der Vibrator ist ausgestattet mit zwei unterschiedlichen Anschlägen für zwei unterschiedlichen Maximalstellungen mit zwei unterschiedlichen Phasenwinkeln β , welche unterschiedlichen Maximalstellungen einstellbar sind unter Umkehrung der Drehrichtung aller Teil-Unwuchtkörper.
15. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß anstatt zweier Paare von Teil-Unwuchtkörpern 3 oder mehr Paare vorgesehen sind, wobei ein mit 3 Paaren ausgestatteter

Vibrator vorzugsweise als Senkrechtvibrator mit übereinander liegenden 3 Paaren ausgebildet ist.

16. Verstelleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das durch einen hydraulischen Motor realisierte Einschalten eines Verstell-Brems-Drehmomentes oder Einschalten eines Verstell-Beschleunigungs-Drehmomentes bewirkt ist durch die Veränderung des Verdrängervolumens einer hydraulischen Maschine, deren durchfließender Volumenstrom wenigstens zum Teil gleichzeitig auch von dem hydraulischen Motor durchflossen ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1a

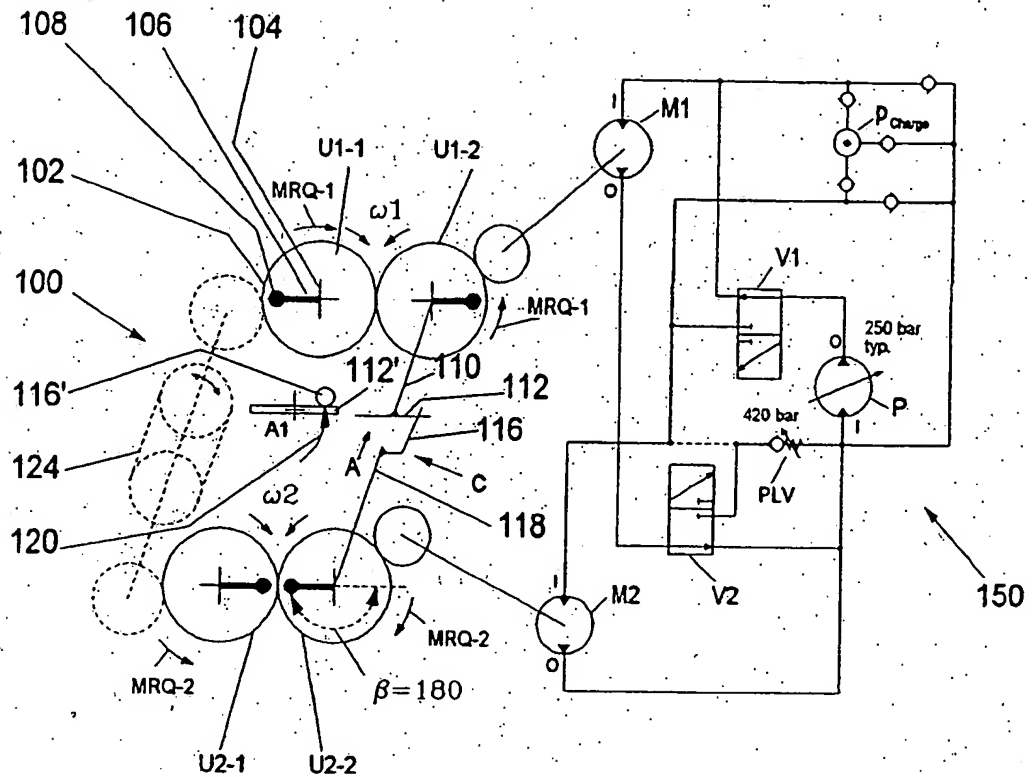


Fig. 1b

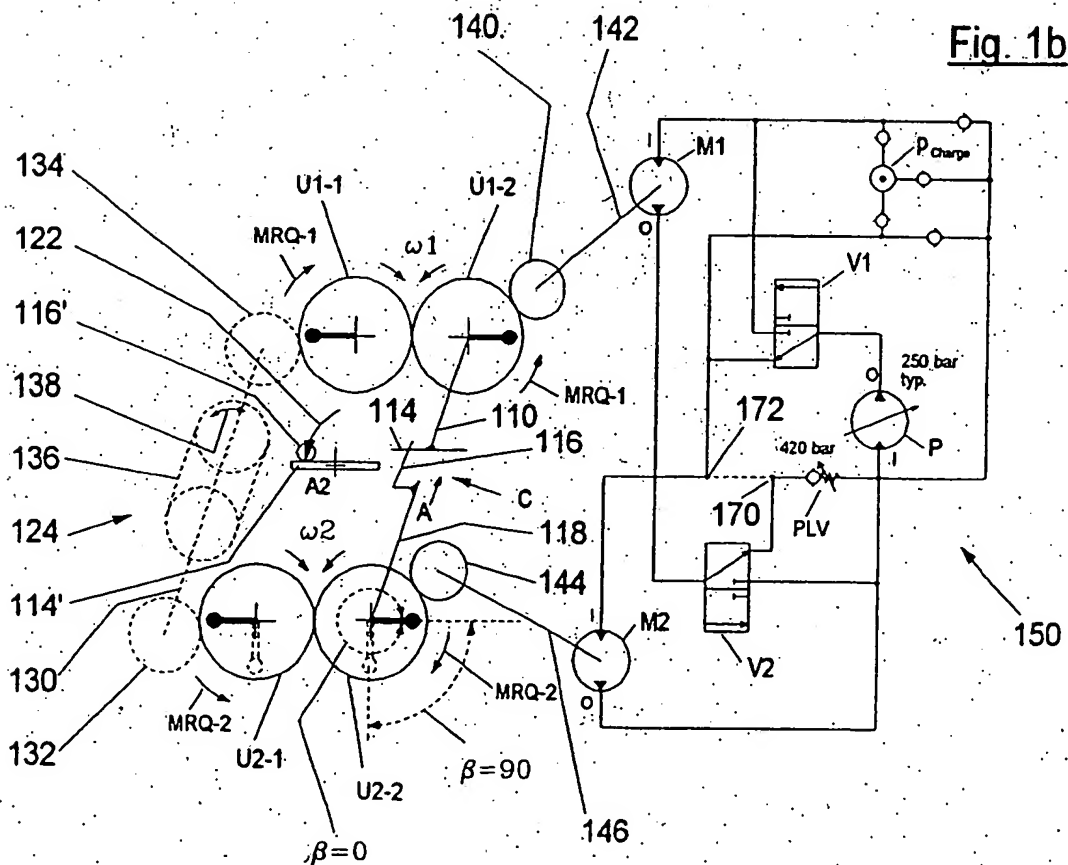


Fig. 3a

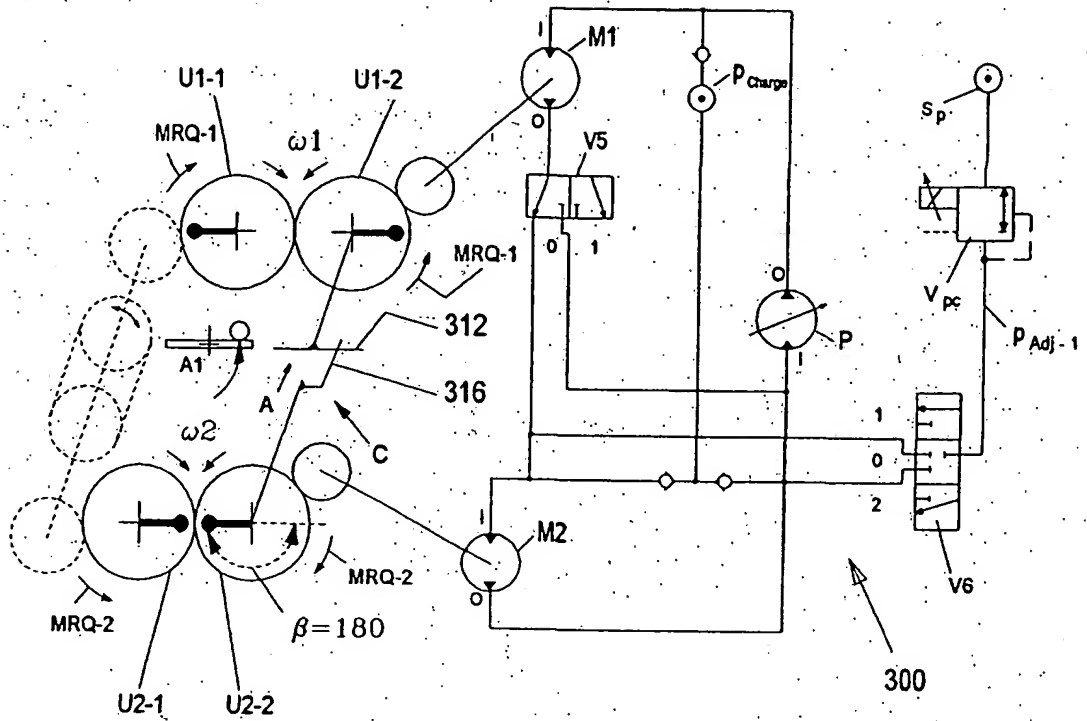
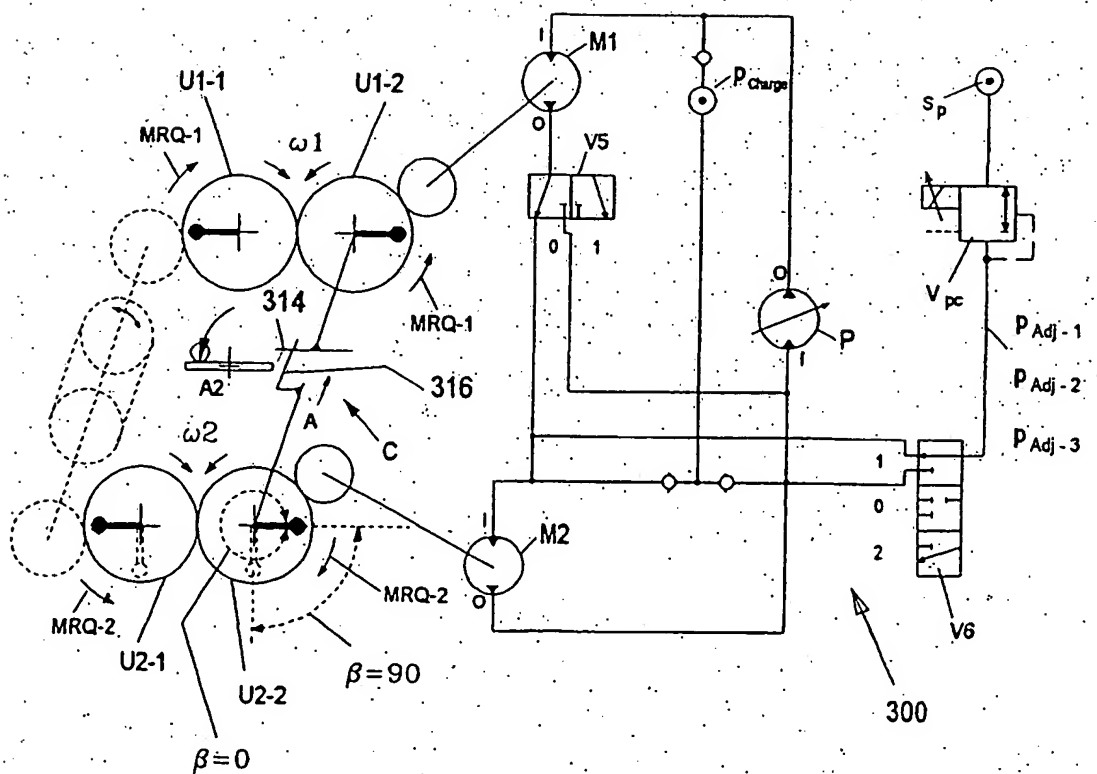
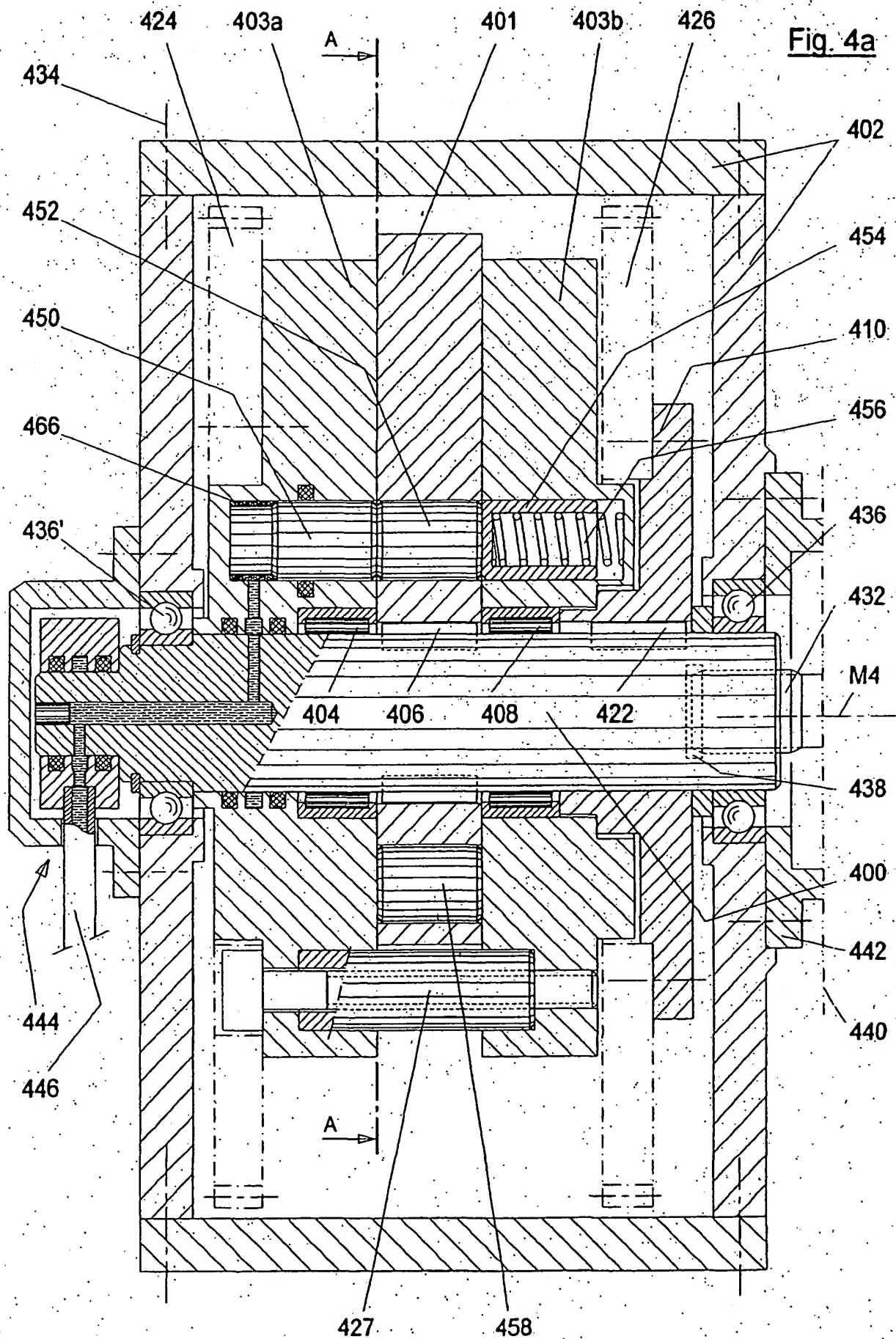


Fig. 3b





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.